



УДК 527.42

**Б.Ж. Ахметов, А. Байтак**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

**А.Б. Болатова**

Государственный университет им. Шакарима, г. Семей

**ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАДИОНУКЛИДАМИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ,  
ВЛИЯЮЩИЕ НА МЕЖЕВАНИЕ ЗЕМЕЛЬ**

При составлении межевого плана в условиях загрязнения радионуклидами земной поверхности необходимо отображать границы с разным уровнем этого загрязнения на данный момент времени. Воздух, почва, а также находящиеся на земной поверхности деревья, сельскохозяйственные культуры, травы, дикие и домашние животные, птицы и рыбы подвергаются загрязнению различными способами.

Земная поверхность (почва на разных горизонтах) подвергается глобальному загрязнению радионуклидами непосредственно после взрыва, затем загрязнение происходит вследствие ветрового переноса радионуклидов пылью и дымом, а также водой в различных ее состояниях. После этого радионуклиды с частицами пыли передаются человеку через дыхательные органы, а также с продуктами питания растительного и животного происхождения, питьевой водой [1]. Другим фактором влияния загрязнения земной поверхности является оседание и проникновение радионуклидов в породы, содержащие полезные ископаемые. При добыче полезных ископаемых и их транспортировке и переработке происходит дальнейшее их распространение на значительные расстояния и проникновение с пылевыми частицами внутрь человека. Загрязнение участков земной поверхности во всем многообразии ограничивают и в целом ряде случаев даже запрещают на данной территории проживание и ведение любой деятельности.

Уровень накопления радионуклидов в растениях зависит от плотности выпадений и от условий произрастания. Второй фактор в свою очередь зависит от типа почвы, на которой находится растение. Концентрация радионуклидов в продуктах питания напрямую зависит от величины загрязнения растительного покрова на данной территории (рис. 1).

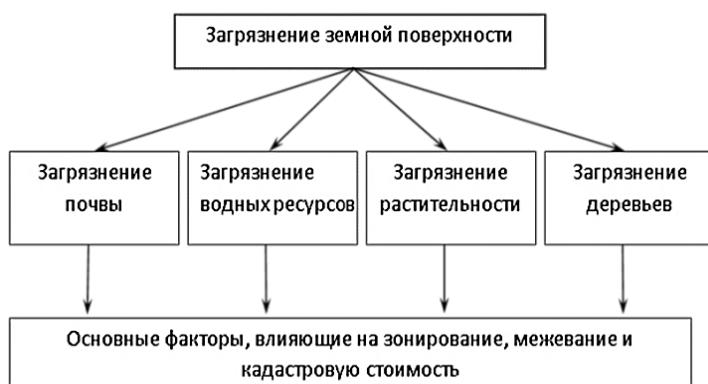


Рисунок 1 – Влияние загрязнения радионуклидами земной поверхности

Согласно выполненным исследованиям (2010, с. 77) было установлено, что спустя 50-60 лет, прошедших со времени проведения атмосферных испытаний, максимальное содержание выпавших на поверхность почвы радионуклидов остается, в основном, в ее поверхностном слое. При этом глубина проникновения радионуклидов в почву в среднем равна 15-20 см. Авторами исследований указывается, что такое сравнительно небольшое проникновение радионуклидов в верхний слой почвы обусловлено нехваткой влаги, вследствие чего радионуклиды не могут переместиться с водой (выпадающими осадками летом или снегом зимой) в более низкие горизонты. Авторами исследований (2010, 2 с. 71) указывается, что вертикальное распределение радионуклидов в почве имеет тенденцию уменьшения по мере заглубления [2].

Однако при ведении сельскохозяйственной деятельности обработка почвы происходит на глубину до 25-35 см, вследствие чего в значительной степени происходит перемещение горизонтов, и распределение радионуклидов по высоте будет более равномерным. Перераспределение радионуклидов в горизонтальной плоскости при ведении сельскохозяйственной деятельности происходит незначительно, так как перемещение почвы сельскохозяйственными машинами (плуг, культиватор, борона) составляет всего несколько сантиметров [3].

Из этого следует, что выпавшие радионуклиды и находящиеся в верхнем слое почвы практически полностью включаются в различные пищевые цепочки. Кроме того, нарушение поверхностного слоя почвы при проведении различных сельскохозяйственных работ в любое время года приводит к разрыхлению почвы и образованию мелких частиц и пыли. Эти мелкие частицы и пыль содержат в себе частицы радионуклидов, которые участвуют во вторичном загрязнении. Это вторичное загрязнение имеет значительную горизонтальную составляющую [4].

*Последствия радиоактивного загрязнения радионуклидами воздушного бассейна.* Загрязнение воздуха происходит непосредственно после взрыва, а затем взвешенные радиоактивные частицы находятся в воздухе при их ветровом переносе пылью или дымом (рис. 2). В связи с этим возникают ограничения на пользование земельными участками, на которых возможен подъем пыли, например, участки с близким расположением автомобильных дорог без твердого покрытия.

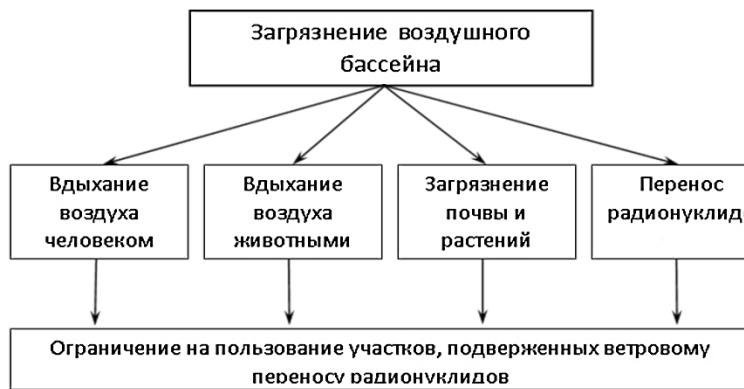


Рисунок 2 – Влияние загрязнения радионуклидами воздушного бассейна

*Последствия радиоактивного загрязнения радионуклидами деревьев.* Загрязнение деревьев происходит сначала после взрыва путем оседания с пылью радионуклидов на листьях. Затем попадающие в почву радионуклиды поглощаются корнями вместе с необхо-

димыми для роста деревьев питательными веществами. После отмирания листьев накопившиеся в них радионуклиды снова попадают в почву на разных расстояниях от дерева. Если дерево плодовое, то радионуклиды оседают и на его плодах, а затем попадают в организм человека, животного или птицы. После животного или птицы снова идет попадание радионуклидов в организм человека. И, наконец, при сжигании дерева в дыме остаются радионуклиды, которые, как уже указывалось выше, ветром переносятся на значительные расстояния [5].

В связи с этим возникают следующие ограничения:

- если лесной массив, парковая зона, лесополосы или сады подверглись первоначальному загрязнению радионуклидами ветровым переносом, то по корневой системе через опавшие листья и плоды будет периодически происходить вторичное загрязнение определенного участка местности и человека;
- усиление загрязнения будет происходить, если на данной территории имеются загрязненные грунтовые воды;
- в связи с этим будет иметь место уменьшение кадастровой стоимости земельного участка и выделение зоны с ограниченным пользованием с сохранением права собственности (рис. 3).

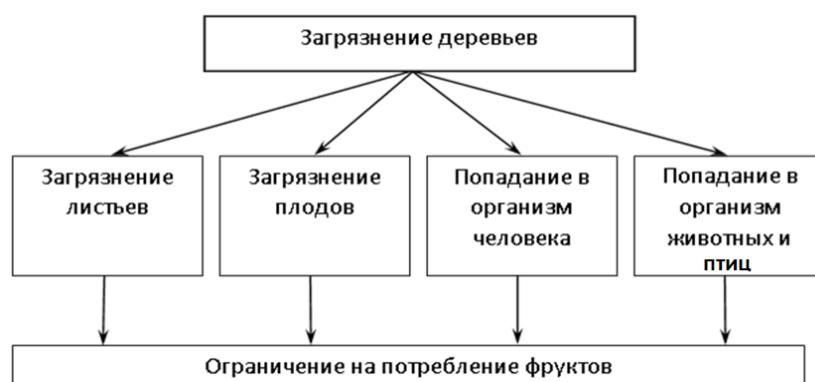


Рисунок 3 – Влияние загрязнения радионуклидами деревьев

Загрязнение сельскохозяйственных культур происходит в районах, где занимаются их выращиванием. В отличие от деревьев, кустарника и травяного покрова выращивание сельскохозяйственных культур происходит циклически, т. е. с периодичностью один раз в год [6].

#### Список литературы

1. Лукашенко С.Н. Семипалатинский испытательный полигон / С.Н. Лукашенко, Ю.Г. Стрильчук, С.Б. Субботин и др. - Курчатов: Дом печати, 2011.
2. Уставич Г.А. Реконструкция почвенной карты антропогенно преобразованных ландшафтов / Г.А. Уставич, Я.Г. Пошивайло, И.П. Каретина // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2012. - № 2/1. - С. 72-76.
3. Уставич Г.А. Разработка метода ретроспективного картографирования почвенного покрова земель населенных пунктов / Г.А. Уставич, Л.А. Пластиинин, Я.Г. Пошивайло и др. // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2013. - № 4/С. - С. 99-103.
4. Уставич Г.А. Состав геодезических и картографических работ при изучении мест проведения ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне / Г.А. Уставич, Ю.Ю. Яковенко, А.М. Яковенко и др. // Геодезия и картография. - 2013. - № 4. - С. 2-6.
5. Уставич Г.А. Комбинированный способ создания инженерно-топографических планов масштаба 1:500 промышленных территорий и отдельных промплощадок / Г.А. Уставич, В.А. Середович, Я.Г. Пошивайло и др. // Геодезия и картография. - 2009. - № 1. - С. 31-37.

6. Уставич Г.А. Вопросы межевания земель Семипалатинского испытательного полигона и прилегающих к нему территорий / Г.А. Уставич, Я.Г. Пошивайло, А.М. Яковенко и др. // Геодезия и картография. - 2013. - № 9. - С. 59-64.
7. Субботин С.Б. Оценка возможностей протекания процессов катастрофического характера на площадке / С.Б. Субботин, С.Н. Лукашенко, С.В. Генова и др. // Балапан: Сб. тр. ин-та радиационной безопасности и экологии за 2007-2009 гг. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. - Вып. 2.
8. Уставич Г.А. Учет влияния розы ветров при картографировании и межевании земель, прилегающих к Семипалатинскому испытательному полигону / Г.А. Уставич, А.Р. Батуев, Я.Г. Пошивайло и др. // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2013. - № 4/С. - С. 123-126.
9. Киселева А.О. Разработка информационных форм ведения баз данных о недвижимом имуществе для целей кадастра / А.О. Киселева, В.Н. Клюшниченко // Вестник СГГА. - 2012. - Вып. 4 (20). - С. 87-92.

Получено 15.12.2016

---

УДК 911.5/.9(574)

**Р.С. Бейсембаева, К.А. Асылгазина**

Восточно-Казахстанский Государственный университет им. С. Аманжолова,  
г. Усть-Каменогорск

**СОЦИАЛЬНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ КАЗАХСТАНА**

В результате проведения на протяжении долгих лет политики планового размещения производственных сил, главным принципом которой было – все для развития экономики, без учета социально-демографического фактора, в Казахстане сложилась такая система производства, которая сегодня становится одной из причин низкой конкурентоспособности экономики Республики Казахстан. Причинами пространственно-территориальной неоднородности и значительных диспропорций в социально-экономическом развитии Казахстана являются низкий уровень диверсификации республиканской экономики, неравномерное распределение населения по территории, устаревшая система расселения, различное экономико-географическое положение территорий, неэффективная пространственная организация.

Все это остро ставит проблему создания современной модели системы расселения и пространственной организации территории Республики Казахстан.

В современной экономике Казахстана главенствующую роль играет промышленное производство, которое ориентировано на экспорт отраслей. Исторически сложилось так, что промышленные предприятия, которые являются основными производителями прибыли экономики страны, являются также градообразующими. Таким образом, настоящая хозяйствственно-производственная система определяет темпы социально-экономического развития Казахстана, наиболее общий подход к государственным задачам управления развитием, опирающийся на представления о стране, как системно-структурной целостности.

На современном этапе задачей территориальной организации страны и системы расселения является формирование эффективной пространственной организации экономического потенциала и расселения населения, отвечающей новым задачам позиционирования на мировой арене страны и ее регионов, обеспечивающей создание единого внутреннего экономического пространства, учитывающего геополитические и геоэкономические факторы развития Казахстана.

Наиболее характерной чертой территориальной организации общества и расселения населения в современном мире является развитие городских агломераций. Процесс развития городских агломераций, концентрирующих важнейшие объекты промышленности,

науки, образования, культуры и рекреации, характерны для Казахстана. В последние годы формирование городских агломераций в Республике Казахстане несколько затормозилось вследствие депопуляции, утраты сельской местностью способности пополнять городское население, спада промышленного производства и затяжных социально-экономических кризисов. В настоящее время Казахстан испытывает дефицит городов всех категорий и особенно крупных агломераций, что создает проблемы для правильного пространственного развития, организации территории и модернизации периферийных районов. Именно крупные города и городские агломерации должны выступать «локомотивами», «полюсами роста» социально-экономического развития страны и ее регионов. То есть, инновационные и управляемые центры, являющиеся зонами высокоорганизованной урбанистической среды жизни, концентрирующие в себе современные городские инфраструктуры, информационные каналы, являющиеся экологически благоприятными для жизни, что должно повлиять на качество жизни населения.

Инновационное развитие в Казахстане может быть обеспечено за счет активизации развития городов, урбанистических процессов и выделения городов-лидеров. В этой связи в Казахстане с низкой плотностью населения ключевой формой территориальной организации должны быть выдвинуты агломерации, в которых сосредоточены основные ресурсы территорий: финансовые, человеческие, инновационные, природно-экологические, культурные. Такой подход обеспечит качественный демографический и территориально-пространственный рост Казахстана.

В условиях Казахстана целесообразно на первоначальном этапе сконцентрироваться на уже сложившихся крупных агломерациях – вокруг городов Астана (872 655 чел., 2016 г.), Алматы, Шымкента и областных центрах, численность которых превышает 250 тыс. человек, которые, согласно мировой практике пространственного развития, смогут стать центрами устойчивых агломераций. К сожалению, в Казахстане нет ни одного мегаполиса мирового масштаба, и лишь один казахстанский – Алматы (с численностью населения 1 703 481 чел., 2016 г.).

Но в сложившейся структуре экономики крупных казахстанских городов существует дефицит услуг по управлению экономикой, торговлей, финансами, информацией, юридическими, инновационными услугами и т.д. То есть их функции не отвечают требованиям современного мира. Загруженные производством крупные города не управляют, а тормозят развитие остальных зон. Человеческие ресурсы для роста агломераций в Казахстане ограничены и сосредоточены в основном на юге. Формирование агломераций будет зависеть от численности и экономического развития крупных городов, плотности населения окружающих территорий.

Города Астана и Алматы концентрируют в себе экономическую активность в стране и имеют возможность выступить в качестве зоны интеграции страны с региональными и глобальными рынками. Они находятся на пересечении основных осей развития страны и являются крупными инновационными и управляемыми центрами.

Эти города становятся так называемыми постиндустриальными зонами, торговыми-финансовыми, инновационно-образовательными, транспортно-логистическими и рекреационными центрами. Таким образом, стимулируется приток в них наиболее ценного вида капитала – человеческого и обеспечивается высокое качество жизни населения.

Агломерационный потенциал Алматы выше благодаря более высокой численности населения, более плотному расселению (в ней, а также в трех прилегающих районах и г. Капчагай, суммарно проживает более 1,8 млн человек, 2016 г.) и преобладанию сектора товарных услуг. Алматинская агломерация способна быстро расти благодаря активно мигрирующим трудовым ресурсам прилегающих территорий.

Преимущество Астаны – административный статус, стимулирующий приток мигран-

тов из других регионов страны. Ее рост зависит от развития сектора трудоемких рыночных услуг, определенный толчок к привлечению населения на определенное место жительства придаст проведение Всемирной универсальной выставки EXPO-17.

Шымкент (885 799 чел., 2016 г.) притягивает многочисленное растущее сельское население прилегающего региона в сектор услуг. Агломерационный потенциал Шымкента, как второго центра юга, значительный. Рост Шымкентской агломерации определяет плотно заселенная сельская территория с сильным демографическим давлением.

Караганда (497 824 чел., 2016 г.) имеет меньшие перспективы к агломерационному росту, т.к. демографические ресурсы окружающей территории сокращаются, и большинство населения уже сконцентрировано в областном центре вместе с Темиртау. Рост населения из средних и малых промышленных центров, а не только из Караганды, идет путем перемещения населения из села. Препятствием для концентрации населения в регионе может оказаться более привлекательная и перспективная для мигрантов Астана. Тем не менее, развитие Карагандинской агломерации может быть достигнуто путем модернизации экономики, усиления связи ее городов и повышении квалификации человеческих ресурсов.

Таким образом, основным направлением пространственного развития и расселения населения Казахстана должно явиться поликентрическое развитие, критерием оценки должно быть качество жизни, которое должно быть достигнуто на основе инновационно-индустриального развития, что меняет подходы к развитию экономического потенциала республики.

Переход на новую пространственную организацию территории в рамках агломераций и урбанизированных регионов Казахстана, на наш взгляд, будет выступать в качестве одних из важнейших условий и факторов обеспечения конкурентоспособности наравне с инновационными технологиями и выгодным географическим положением, что отразится на складывающихся осиях пространственно-территориального развития Республики Казахстан (рис. 1).

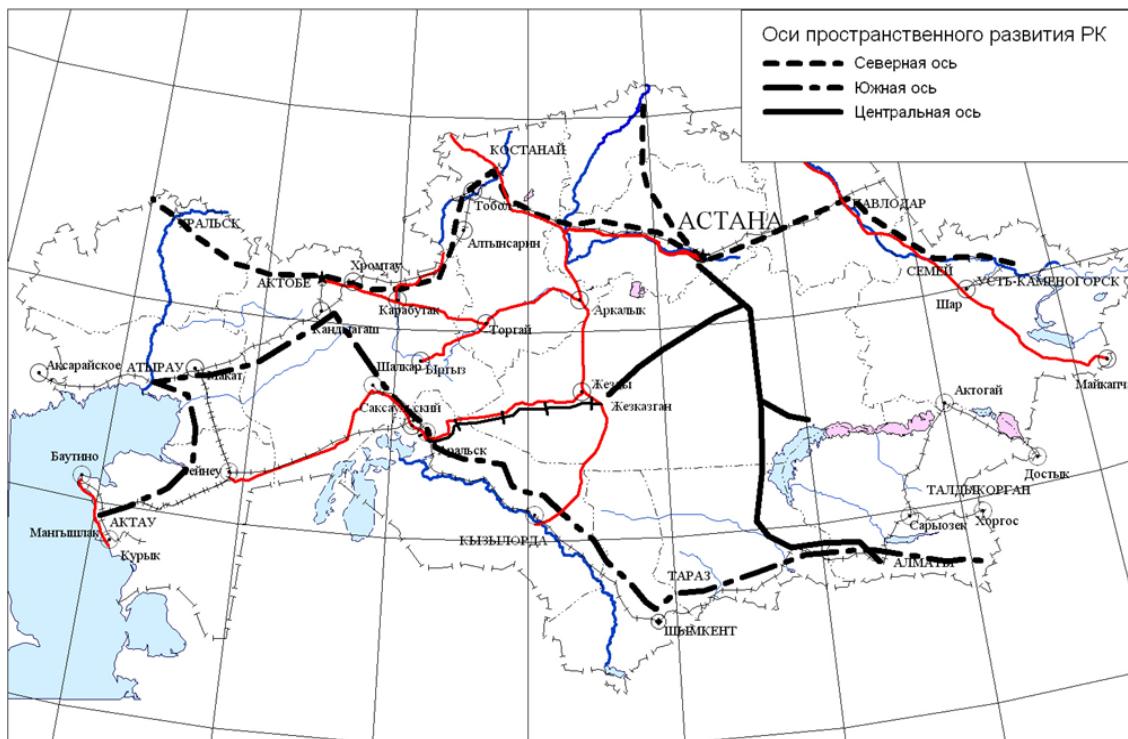


Рисунок 1 - Складывающиеся оси пространственно-территориального развития  
Республики Казахстан

Анализ географического положения, природного, трудового, экономического потенциалов, а также системы расселения, предусматривает осуществить переход к осевому подходу формирования территориального пространства Казахстана. Каркасной основой территориального пространства страны станут существующие и намечаемые к формированию транспортно-коммуникационные коридоры, обеспечивающие выход на внешние рынки и интеграцию страны с региональной и мировой экономикой, а важнейшими узлами будут крупные города-лидеры, интегрированные с региональными и глобальными рынками.

Список литературы

1. Послание Президента Республики Казахстан Н.А. Назарбаева народу Казахстана. 30 ноября 2015 г.
2. Стратегии территориального развития Республики Казахстан до 2015 года. - Астана, от 28 августа 2006 г.

Получено 15.12.2016

---

УДК 546.34/36

**О.А. Дрючкова**

Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет», г. Усть-Каменогорск

**А.Т. Садуакасова, В.И. Самойлов, Г.Б. Жакупова, Н.А. Куленова, Г.А. Кокаева,  
М.А. Адылканова, С.А. Абдулина**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГАЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛИТИЕНОСНОГО  
ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПУТИ ЕЁ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ**

Литий (Li) - самый легкий из металлов. Стратегически важными областями его применения были и остаются ядерная энергетика и военная техника [1]. Идентифицированные сырьевые ресурсы лития в мире - 13 млн т при объеме мирового потребления ~ 65 тыс. т. При этом 22% подтвержденных запасов лития сосредоточены в пегматитовых рудах, а 78% - в различных видах гидроминерального сырья [2].

Существует несколько классификаций природных вод и рассолов.

В соответствии с классификацией, которая изложена в монографии Е.В. Пиннекера [3], природные рассолы разделяются по степени минерализации.

Классификация литийсодержащих рассолов Ю.И. Остроушко [4] основана на содержании лития и соотношении суммарной концентрации магния и щелочноземельных металлов.

Согласно предлагаемой А.Д. Рябцевым [2] классификации все известное литиеносное гидроминеральное сырье (ЛГМС) можно разделить на два больших класса: ЛГМС, залегающее в районах с ярко выраженным аридным климатом, и распространённое в местах с неблагоприятным климатом для естественного испарительного концентрирования.

Также существует несколько классификаций природных вод и рассолов, основанных на их катионном и анионном составе [5].

В мировой практике освоены несколько крупных месторождений литиевых рассолов.

Сухое озеро Сёрлз (штат Калифорния, США) – межзернистая карбонатно-хлоридная натриевая рапа с литием (концентрированный рассол) [6, 7]. По данным разных авторов

рапа содержит от 96 до 115 мг/л лития в верхнем пласте и около 40 мг/л – в нижнем.

Первая стадия переработки рапы – её концентрирование в испарителях. Рассол, предварительно нагретый в теплообменниках вакуум-кристаллизационной установки, поступает в вакуумную батарею с принудительной циркуляцией и противотоком выпариваемого рассола и греющего пара. В выпарные аппараты вводится некоторое количество жирных кислот.

При этом смесь различных фосфатов с преобладанием  $\text{Li}_2\text{NaPO}_4$  осаждается в виде тонкодисперсных частиц вместе с беркеитом ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), входя в состав кека беркеита, удаляемого из выпарных аппаратов. При последующем выщелачивании кека беркеита в растворе соды получают раствор беркеита, в котором литий образует трудно-растворимую твёрдую фазу в виде суспензии. Этую суспензию отделяют аэрацией. Пенный продукт (литийсодержащий шлак) обезвоживают, высушивают, превращая в концентрат, перерабатываемый на  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ . Осветлённый раствор беркеита после завершения фильтрования поступает в дальнейшую переработку.

После измельчения в мельнице литиевый концентрат обрабатывают концентрированной серной кислотой, получая смесь твёрдых сульфатов лития, натрия и разбавленную фосфорную кислоту, которые разделяют центрифугированием. При упаривании кислоты, содержащей много лития и натрия, получают 70-80%-ю фосфорную кислоту – ценный побочный продукт производства – и дополнительно  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , присоединяемых к основной массе. Смесь сульфата лития, сульфата натрия растворяют в воде, и непрореагировавший фосфат после доведения pH раствора до 9 выпадает в осадок, отделяется от раствора. Для осаждения карбоната лития в раствор смеси сульфатов вливают горячий раствор соды.

Промышленно перерабатываются рассолы озера Сильвер-Пик (штат Невада, США) с получением карбоната лития [2, 6, 7]. На месторождении ведутся работы по организации добычи сильвина и производства соды, оксида магния. Схема извлечения лития рассчитана на использование солнечной энергии. Из скважин диаметром 610 мм с глубины 100-210 м рапа перекачивается в испарительные бассейны 10 и 9 площадью 3076 тыс.  $\text{m}^2$  и глубиной 0,9-1,2 м, из которых после упарки последовательно поступает в бассейны 8, 7, 6, где происходит садка галита, а концентрация лития достигает 0,12% масс. В бассейн 6 подаётся известковое молоко и после перекачки рапы в бассейн 5 и дальнейшей упарки из неё выпадает  $\text{Ca}_2\text{SO}_4$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Дальнейшая концентрация в бассейнах 4 и 3 и взаимодействие с углекислотой воздуха позволяет осадить  $\text{CaCO}_3$ . Лития в бассейне 3 уже 0,19% масс. В бассейне 2 выпадает в осадок глазерит  $[\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2]$ , а в бассейне 1 и в бассейне концентрированной рапы также сильвин. Садка галита происходит во всех бассейнах. Лития в бассейне концентрированной рапы 0,5% масс. Испарительный сезон длится с апреля по октябрь. Переток из бассейна в бассейн частично идёт самотёком. Концентрированная по литию рапа поступает на завод в 3 км от бассейнов, где её смешивают с содой и известковым молоком для осаждения остатков кальция и магния. Фильтрат, отделённый от осадка, разогревают до 93 °C и содой осаждают  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , содержащий 1% масс примесей кальция, магния, натрия, сульфат-иона. В 1992 г. в США около 70% добычи лития давали сподуменовые рудники шт. Северная Каролина и 30% рапа Сильвер-Пик. Мощность завода «Сильвер-Пик» – 7,28 тыс. т карбоната лития в год.

Самое богатое литием месторождение рассолов на севере Чили на саларе (сухом озере-солончаке) Атакама [6, 7].

Из рассолов Li извлекают путём постадийной солнечной упарки, в результате которой его концентрация возрастает с ~1,7 до ~43 г/л. Из скважин глубиной ~30 м рассолы за качивают в испарительные бассейны.

Для предотвращения фильтрации рассола дно бассейнов покрыли слоем поваренной соли толщиной 0,3 м. При упаривании рассолов до  $\sim 43$  г/л (по литию) возможны потери за счёт выпадения двойной соли состава  $KLiSO_4$ . Поэтому поступающие на испарение рассолы частично десульфатизируют, смешивая с рассолами, имеющими повышенную концентрацию хлорида калия. В 1-м бассейне осаждают в основном  $CaSO_4$ , а на следующих стадиях концентрирования из рассолов последовательно выделяют галит, сильвинит, карналит, бисульфат калия. Очистка бассейнов от осадков не предусмотрена. Упаренный раствор в цистернах по железнодорожной ветке транспортируют на завод в г. Антофагаста, где очищают от магния, кальция известковым молоком и содой. Очищенный и нагретый до  $80$  °С рассол обрабатывают содой для выделения карбоната лития.

Принятая на месторождении технология не обеспечивает выделение из рассолов других ценных компонентов (сульфата калия, борной кислоты), хотя стоимость их может быть сопоставима со стоимостью карбоната лития.

Поэтому консорциумом MINSAL были проведены дополнительные исследования, в результате которых была разработана оригинальная технология комплексного использования сырья, также основанная на постадийной солнечной упарке рассолов, при которой Li выделяется из раствора в виде кристаллов смешанной соли состава  $KLiSO_4$ . Извлечение лития в кристаллы при высыпывании их составляет  $\sim 67\%$ . Полученная таким образом соль является по существу химконцентратом лития и калия (содержание лития  $\sim 4,9\%$  масс.), который можно транспортировать на любые расстояния. Из такого концентрата легко получить товарные соединения лития и калия. Однако  $Li_2CO_3$ , получаемый в Чили, имеет недостаточно высокое качество.

Салар Уюни – главное месторождение лития Боливии, представляющее собой самую крупную в мире соляную равнину [2, 8, 9]. Содержание лития в рассолах варьируется от 80 мг/л до 1150 мг/л, также имеются сообщения о высоких его концентрациях на данном месторождении, достигающих 4700 мг/л. По различным оценкам, запасы лития составляют от 5,0÷5,5 до 8,9÷9,0 млн т. Высокое отношение  $Mg/Li$  (18,6) затрудняет извлечение лития путём гелиоконцентрирования. Пилотный проект по добыче и производству лития был запущен в мае 2008 г., и осенью 2009 г. небольшой завод около посёлка Рио-Гранде выпустил первую продукцию карбоната лития. Боливия занимает первое место в мире по запасам лития.

Салар-дель-Омбре Муэрто расположен в провинции Катамарка (Аргентина). По данным разных авторов [2, 7, 8] содержание лития в рассолах месторождения находится на уровне 190÷1080 мг/л. Разработка месторождения была начата в 1997 г. Юго-восточный участок салара периодически испытывает подъём воды за счёт стоков с лагуны Катал, при спаде воды остаётся белая гладкая соляная корка. Остальная часть поверхности салара покрыта неровной трещиноватой соляной коркой, под которой находятся литиеносные рассолы. Концентрация лития в них варьируется от 190 до 900 мг/л. Салар Омбре Муэрто имеет такие преимущества, как низкие концентрации примесей в рассолах (величина  $Mg/Li = 1,37$ ), а также близость к транспортным линиям.

На сегодняшний день запасы лития в гидроминеральном сырье Китая достигают 3,35 млн т [8].

Оценки запасов лития в соляных озёрах Цайдамской котловины, занимающей северо-западную часть провинции Цинхай, варьируют от 1,0 до 2,0 млн т. Разработка ведётся только на двух озёрах – Тайцзинайэр и Дунтайцзинайэр. Содержание лития в озере Тайцзинайэр составляет 203 мг/л, а в озере Дунтайцзинайэр – 161 мг/л. Производство карбоната лития из вод озёр достигает 5000 т/год и 3000 т/год соответственно. В силу высокого отношения  $Mg/Li$  (67,7 и 40,3 соответственно) извлечение лития из озёрных вод

затруднено, однако создана новая технология для производства карбоната лития из высокомагнезиальных растворов.

Озеро Цзабуе расположено в Тибетской автономной области (Китай), оно является крупнейшим литиевым месторождением в Китае [2, 10]. Содержание лития в водах озера варьируется от 896 до 1527 мг/л. Добыча лития здесь началась в 1982 г. По данным Геологической службы США, производительность завода на данном озере составляет 5000 т карбоната лития в год.

Ещё одно месторождение, на Тибетском нагорье (Китай), где ведётся добыча лития – озеро Дансионцо [2, 7, 10]. Концентрация лития в рассолах составляет 430 мг/л. На озере ведётся добыча лития – 5000 т карбоната лития в год.

Все технологии по переработке рассолов и саларов, находящихся в аридном климате, основаны на гелиоконцентрировании, что, безусловно, определяет рентабельность галургических литиевых производств. Вместе с тем, в ряде регионов земного шара, удалённых от тропического пояса и имеющих месторождения минерализованных вод с повышенным содержанием лития (табл. 1), невозможно природное концентрирование литийсодержащих рассолов из-за неблагоприятных климатических условий.

Кроме лития в минерализованных водах промышленное значение имеют K, Na, B,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Cl, которые с середины 1990-х годов извлекают комплексно с использованием передовых технологий, получая удобрения,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , борную кислоту, соединения лития.

Таблица 1

(Арало-Каспийский бассейн)	0,056										
----------------------------	-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

СНГ не располагает благоприятными климатическими условиями для организации галургических производств с применением солнечной упарки [6]. В то же время в странах СНГ имеется несколько крупных промышленных месторождений редкometалльных руд (табл. 1). Однако отсутствие конкурентоспособной технологии переработки литиевого рудного сырья ставит их в зависимость от импорта латиноамериканского карбоната лития.

При этом приходится расходовать валютные средства на закупку карбоната лития и их транспортировку из Америки, что, очевидно, ведёт к повышению фактической стоимости импортируемого карбоната лития и, таким образом, приближает её к стоимости карбоната лития, получаемого из местного рудного сырья. В то же время разработка и внедрение высокоеффективной гидрометаллургической технологии комплексной переработки собственного литиевого рудного сырья в СНГ не потребует вложений валютных средств на приобретение импортного сырья и обеспечит возможность снижения себестоимости получаемого при этом карбоната лития до уровня, обеспечивающего его конкурентоспособность. В конечном счёте, это позволит странам СНГ отказаться от импорта литиевой продукции латиноамериканских галургических производств. Вместе с тем освоение имеющихся в СНГ месторождений литиеносных минерализованных вод (табл. 1), являясь актуальной задачей (нацеленной на расширение сырьевой базы литиевых производств), требует разработки эффективной (безвыпарной) технологии использования этого гидроминерального сырья.

Суровые климатические условия в регионах распространения (табл. 1) литийсодержащих гидроминеральных источников не позволяют использовать известные приемы переработки: естественное концентрирование для отделения всей массы солей и осаждение лития с использованием соды.

Известные способы [1] извлечения лития из рассолов без их предварительного концентрирования основаны на его осаждении с использованием аморфного гидроксида алюминия, образование которого происходит в сфере реакции при pH 7. Образование осадков в значительной степени зависит от условий осаждения лития и характера осадителя. Как правило, получаются гелеобразные, плохо фильтрующиеся осадки. Осаждение лития в метастабильных условиях приводит к противоречивым результатам, касающимся состава алюминатных осадков и механизма их образования.

Для создания эффективных способов осаждения лития с использованием алюминийсодержащих реагентов, в том числе при pH<7, практический интерес представляет исследование образования литий- и алюминийсодержащих фаз в равновесных условиях.

Осаждение лития из природных рассолов Дагестана еще в советское время осуществляли по аналогии с технологическим процессом, предложенным в свое время И.С. Лилеевым [1] для извлечения лития из растворов, образующихся при термической переработке горно-рудного сырья на конечной стадии. Сибирские специалисты нашли способы осаждения двойных соединений алюминия-лития на твердом одноразовом сорбенте. Первичный продукт испытали в заводских условиях при электролизе алюминия на предприятиях Министерства цветной металлургии СССР и получили положительный результат.

С участием отраслевых институтов была предложена комплексная технология получения литиевых и магниевых продуктов, а также солей натрия, кальция, стронция, проверенная затем в том же Дагестане на опытных установках Южно-Сухокумского нефтяного месторождения. Однако дальше технология не была реализована. Проект не реализовали из-за межведомственных разногласий.

Для получения лития из термальных вод нефтяных месторождений опробован метод

электроагуляции с растворимыми железо-алюминиевыми анодами [11], степень извлечения лития - 70,5%. Полученные результаты показали высокую производительность и незначительную энергоемкость процесса. Однако не решены вопросы сгущения, фильтрации и утилизации выделяемого литийсодержащего осадка.

Также велись работы [12] по выделению лития из многокомпонентных растворов хемосорбцией на гидроксида алюминия. Осаждение лития осуществлялось с использованием различных алюминийсодержащих реагентов: гидроалюмокарбоната натрия (ГАКН), активных форм гидроксида алюминия (ГОА), растворимых солей алюминия, различных композиционных смесей.

В.В. Болдырев [1] для селективной сорбции ионов лития из рассола предложил использовать метод интеркалирования. Суть его в том, что в некоторые соединения, имеющие слоистую кристаллическую решетку, способны внедряться молекулы воды, катионы и анионы, присутствующие в растворе. Можно попытаться подобрать такое соединение, чтобы ширина щели между слоями была достаточна для вхождения в нее ионов с малыми размерами, не позволяя в то же время проникать туда более крупным катионам. Для этой цели было решено использовать слоистые алюмосодержащие соединения.

Выполненные под руководством Н.П. Коцупало [1] исследования показали возможность получения сорбентов нового поколения на основе двойного гидроксида алюминия и лития (ДГАЛ-Сl), имеющего дефектную структуру. В результате укрупненных испытаний при содействии Л.Т. Менжереса [1] были разработаны простые и экономичные способы, позволяющие производить мелкодисперсный продукт с высокоразвитой удельной поверхностью, обеспечивающий в условиях высокой минерализации рассола интеркаляционный механизм вхождения молекул хлорида лития в наноразмерное пространство между алюмогидроксидными слоями. Был осуществлён выбор наиболее экономичного способа промышленного синтеза сорбента химическим путём. В результате была предложена промышленная технология получения гранулированного сорбента на основе ДГАЛ-Сl. Сконструированы сорбционно-десорбционные комплексы с неподвижным и движущимся слоями сорбента. Технология сорбционного обогащения и оборудование для её реализации опробовали на пилотных установках. Одновременно разрабатывались технологии получения карбоната лития для химических источников тока; высокочистого безводного хлорида лития для производства металла и сплавов с ним, а также моногидрата гидроксида лития, бромида и фторида лития. Оборудование для реализации этого подхода опробовали на пилотных установках. Одновременно отрабатывали технологию получения карбоната лития для химических источников тока, высокочистого безводного хлорида лития для производства металла и сплавов с его использованием.

В 2011 году производство гранулированного сорбента на основе ДГАЛ-Сl осуществлено в г. Фошань (пров. Гуандун, КНР). Были получены первые партии сорбента для промышленного сорбционно-десорбционного модуля. С использованием литиеносных озёрных рассолов хлоридного магниевого типа, распространённых в Кигае, осуществлена демонстрация технологии в промышленном масштабе (г. Гэрму, пров. Цинхай) сорбционно-десорбционном модуле - СДМ. Единовременная загрузка произведённого в г. Фошань гранулированного сорбента на основе ДГАЛ-Сl составила 7,6 тонн. По результатам испытаний инвесторами проекта принято решение о строительстве предприятия по производству карбоната лития годовой производительностью до 12 тыс. тонн. Реализованная в промышленном масштабе технология сорбционного обогащения рассолов по литию с получением за один приём безотходного литиевого концентрата показала пример создания инноваций при взаимодействии академической науки с научно-производственными

организациями.

Таким образом, с использованием технологии сорбционного обогащения открылась реальная возможность организации рентабельных промышленных производств литиевых продуктов как из рассолов хлоридного кальциевого, так и хлоридного магниевого типа и расширения сырьевой базы лития за счёт вовлечения в мировое литиевое производство новых нетрадиционных сырьевых источников.

#### Список литературы

1. Коцупало Н.П. Роль сибирских ученых в создании литиевого производства / Н.П. Коцупало, А.Д. Рябцев, В.В. Болдырев // Наука в Сибири. - 2011. - № 14.
2. Рябцев А.Д. Гидроминеральное сырье – неисчерпаемый источник лития в XXI веке // Известия Томского политехнического университета. - Томск, 2004. - № 7. - Т. 307. - С. 64-70.
3. Пиннекер Е.В. Рассолы Ангаро-Аенского артезианского бассейна. - М.: Наука, 1966. - С. 322.
4. Остроушко Ю.И. Гидроминеральное сырье – неисчерпаемый источник лития / Ю.И. Остроушко, А.В. Дегтярёва. - М.: ЦНИИатоминформ, 1999.
5. Алексин О.А. К вопросу о химической классификации природных вод // Вопросы гидрохимии // Тр. НИУ ГУГМС. - 1948. - Сер. 4. - Вып. 32. - С. 25-39.
6. Самойлов В.И. Экспериментальная разработка перспективных химических методов извлечения бериллия и лития из минерального сырья. - Усть-Каменогорск: Медиа-Альянс, 2006. - 551 с.
7. Коцупало Н.В. Перспективы получения соединений лития из природных хлоридных рассолов // Химия в интересах устойчивого развития. - 9 (2001). - С. 243-253.
8. Волкова Н.И. Литиевые соляные озёра Южной Америки и Центральной Азии / Н.И. Волкова, А.Г. Владимиров, В.П. Исупов и др. // Химия в интересах устойчивого развития. - 2012. - № 20. - С. 21-26.
9. Садуакасова А.Т. Гидроминеральное литийсодержащее сырьё / А.Т. Садуакасова, В.И. Самойлов // Вестник ВКГТУ. - 2015.
10. Garrett D. Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride: Their Deposits, Processing, Uses and Properties. Amsterdam: Elsevier Acad. Press, 2004.
11. Ланина Т.Д. Извлечение лития из высокоминерализованных пластовых вод нефтяных месторождений / Т.Д. Ланина, И.Ю. Быков // Известия Коми НЦ УрО РАН. - 2010. - № 1. - С. 69-71.
12. Литвиненко В.И. Проблемы освоения гидроминерального сырья Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции / В.И. Литвиненко, Б.Г. Варфоломеев // Материалы Междунар. конф.-семинара «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». - Ухта: УИИ, 1998. - С. 88.

Получено 15.12.2016

---

УДК 669:658.567.1

**Т.Ж. Жукебаева, К.М. Мускенова, А.Е. Кожабергенов**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ СПЕКАНИИ ОФЛЮСОВАННОГО АГЛОМЕРАТА

Повышение эффективности металлургического производства и решение экологических проблем в современных условиях невозможны без рационального использования отходов металлургического производства.

На металлургических предприятиях полного цикла наибольшее количество твердых отходов образуется в доменном и сталеплавильном процессах, которые необходимо улавливать и утилизировать с целью извлечения содержащегося в них полезного металла и поддержания необходимого уровня охраны окружающей среды. Железосодержащие отходы, образующиеся в доменном производстве, колошниковая пыль, шламы мокрой га-

зоочистки, в сталеплавильном производстве конверторный шлам мокрой и сухой газоочистки, а также крупная и мелкая прокатная окалина используются в агломерационной шихте в количестве не больше 2% от массы сырых материалов [1].

Основная масса металлургических шламов содержит от 45 до 70% Fe. Таким образом, железосодержащие шламы представляют новый вид сырья для черной металлургии. Экономический эффект использования вторичного сырья в металлургическом производстве в значительной мере зависит от качества шламовой продукции, которая определяется не только содержанием полезных компонентов (Fe, Mn, CaO и др.), но и наличием вредных примесей (Zn, Pb, S). Основной проблемой при утилизации металлургических шламов является повышенное содержание в них цинка, особенно в связи с использованием оцинкованного скрапа в кислородно-конверторном производстве.

Утилизация этих шламов в аглопроизводстве без предварительного обесцинкования приводит к разрушению кладки доменных печей, образованию цинковых настылей. Наиболее сложный состав имеют шламы доменного и сталеплавильного производства. Эти шламы подвергаются высокотемпературному воздействию в условиях окислительной и восстановительной атмосфер.

Степень переработки конверторного шлака также невысока < 70%, причем все ценные составляющие шлака (CaO, MgO, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-72-80%) выводятся из сферы металлургического производства.

Использование отходов металлургического производства требует специальных исследований по разработке технологии производства огллюсованного агломерата. Повторное использование металлургических отходов позволяет сократить потребление исходных материалов, тем самым увеличив эффективность использования природных ресурсов [2].

При производстве огллюсованного агломерата использовались шламы доменного и конверторного производства, взамен сырых флюсов использовали конверторный шлак (см. табл.).

#### *Характеристика отходов металлургического производства*

Вид отхода	Содержание, %										
	Zn	Fe	C	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S	п.п.
Доменный шлам	1,15	50,8	13,5	10,2	57,0	6,5	1,9	3,10	1,2	0,40	10,8
Конверторный шлам	1,5	57,8	-	42,5	14,0	2,8	0,7	14,5	6,9	0,08	5,7
Конверторный шлак	1,5	9,2	-	31,6	14,4	14,5	2,1	43	4	0,25	-

Основными характеристиками шламов являются химический и гранулометрический состав, однако при подготовке к утилизации необходимо знать параметры: плотность, влажность, удельный выход и др.

Плотность их составляет 2,7 г/см<sup>3</sup>.

Гранулометрический состав: фракции > 0,063 до 10-13%, 0,016-0,032 мм 16-50%, < 0,008 мм от 10 до 18%.

При введении в шихту доменного шлама удельная производительность снижалась на 1% на каждый дополнительный процент шлама. Уменьшение вертикальной скорости спекания на 0,3÷0,4 мм/мин при практически одинаковом выходе годного агломерата объясняется тем, что содержащиеся в шламе частицы углерода значительно меньше, чем в коксике.

В шламе содержится 90-95% топлива крупностью 0,0-0,5 мм, а в коксике - 45-50%.

Мелкодисперсное топливо доменного шлама при окомковании шихты оказывалось за-катанным внутри гранул и препятствовало более полному сгоранию топлива, что снижа-ло теплоотдачу от горения топлива с 23,7 МДж/кгс до 23,4, а в продуктах горения отно-шения CO/CO<sub>2</sub> увеличивалось с 0,75 до 0,81. Это приводило к понижению уровня макси-мальных температур в зоне горения, особенно в верхних горизонтах спекаемого слоя.

Вместе с тем, при температуре выше 1000 °C благодаря хорошему контакту мелко-дисперсного топлива с частицами концентрата возросла степень восстановления с обра-зованием большого количества FeO. В условиях избытка тепла в нижних горизонтах спек-ка увеличилось количество жидкой фазы, отрицательно влияющей на газопроницаемость спекаемого слоя и вертикальную скорость спекания. Добавка доменного шлама путем за-мещения тонкозернистого концентрата ухудшает комкуемость шихты. Поэтому для по-лучения одинакового гранулометрического состава шихты 1,8-2,0 мм требуется увели-чить продолжительность окомкования.

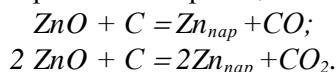
Полная замена коксика топливом доменного шлама (15% от массы шихты) изменяет физико-механические свойства агломерата. Увеличилась прочность агломерата на 8,1%, восстановимость возросла на 5,0%, повысилось содержание FeO с 10 до 15%, количество цинка увеличилось с 0,07 до 0,17%, при Fe<sub>общ</sub>-58%, CaO/SiO<sub>2</sub>-1,12%, S-0,05%.

Использование в аглошихте 1% доменного шлама сокращает расход коксика на 0,25%, флюсов - на 0,1%, концентрата - на 0,6% по отношению к общей массе шихты. Расчеты тепловых балансов показали, что полное замещение сырых флюсов конверторным шла-ком снижает затраты тепла на диссоциацию на 12-15%, следовательно на спекание ших-ты поступает больше тепла.

Поскольку в шламе присутствует цинк и содержание его составляет ~1,5%, проведены термодинамические расчеты фазовых превращений соединений цинка в агломерацион-ном процессе. Основной формой состояния цинка в шламе является его оксид – ZnO, феррит (ZnO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и силикат (ZnO·SiO<sub>2</sub>) цинка.

Исследования фирмы «Синниппон» [3] показали, что цинк в доменных шламах сосре-дотачивается в наиболее тонкой фракции (~20 мкм), железо – сравнительно равномерно распределено во всех фракциях, а углерод – в наиболее крупных.

Можно утверждать, что удаление цинка связано с отгонкой цинка из исходной шихты и последующим улавливанием его в виде оксида или металлического цинка. Взаимодей-ствие углерода с оксидом цинка протекает по реакциям:



Первая реакция протекает при температуре 950 °C, вторая - при температуре 1070 °C и выше, причем возгонка цинка наиболее интенсивно идет при температуре 950-1000 °C.

На рис. 1 приведены результаты исследования степени удаления цинка по высоте спек-аемого слоя при агломерации, цинк восстанавливается из соединений при температуре 1000-1300 °C, что выше точки кипения.

Возгоняющийся цинк выносится из зоны горения топлива, окисляется кислородом, а при t=600-880 °C - двуокисью углерода, частично газообразный цинк окисляется на по-верхности шихты высшими окислами железа при температуре ниже 1200 °C, продвиже-ние зоны горения вниз приводит к повторному восстановлению цинка и его возгонке.

Увеличение парциального давления газообразного цинка (вследствие его накопления) сдвигает начало реакции окисления в область высоких температур, что затрудняет вынос цинка отходящими газами из агломерата. Восстановление цинка возможно только при

повышенном расходе топлива, обеспечивающем резкое снижение содержание  $O_2$  и  $CO_2$  в газовой фазе.

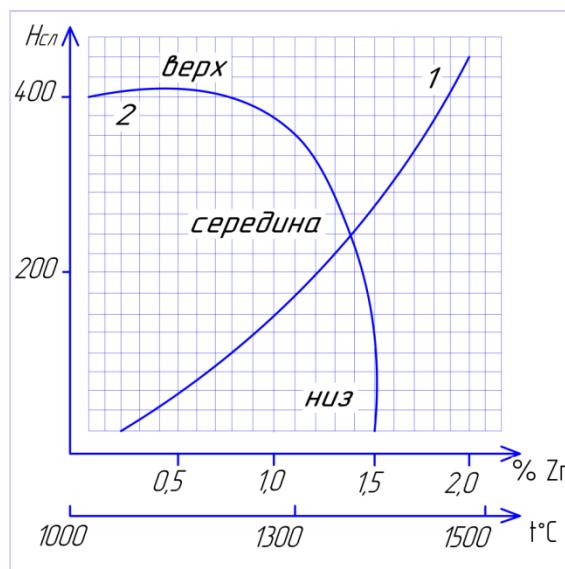


Рисунок 1 - Изменение содержания цинка и температуры по высоте слоя агломерата:  
1 - изменения % Zn, 2 - изменения температуры по высоте слоя с учетом тепла регенерации

Повышение основности агломерационной шихты способствует удалению цинка из шихты за счет разрушения феррита и силиката цинка, а также уменьшения содержания свободных оксидов кремния и железа, что снижает вероятность протекания реакций окисления газообразного цинка до феррита и силиката цинка в зонах интенсивного нагрева и сушки. Основные теоретические выводы поведения цинка в спекаемом слое шихты были подтверждены лабораторными исследованиями.

Основным условием для удаления цинка из спекаемого слоя является высокое содержание топлива в шихте - 20%, увеличение основности с 1,5 до 3,5, что позволяет удалить 10-15% цинка шихты.

При нормальном режиме спекания основности  $CaO/SiO_2$  - 1,5% степень удаления цинка не больше 5-6%. Максимальное удаление цинка возможно при расходе топлива С-10-20%.

Поскольку для удаления цинка необходим значительный расход коксика, нами предложена технология спекания оглюсованного агломерата с дополнительным нагревом, что значительно повысит температуру до 1300 °C за счет увеличения тепла регенерации в верхних слоях аглошихты. Преимуществом рекомендуемой технологии является экономия шихтовых материалов на 15% при добавке шламов до 30% и снижение цинка в агломерате с 1,5% до 0,3%.

#### Список литературы

1. Ульянов В.П. Переработка некондиционных железосодержащих пылей и шламов металлургических переделов. - Сталь, 2002. - № 12.
2. Рябов Т.В. Состояние и перспективы утилизации металлургических шлаков // Новости черной металлургии за рубежом. - 2000. - № 4.
3. Дайке Р. Поведение цинка при рециклинге железосодержащих пылей и шламов // Черные

ӘОЖ 622.273

**А.Ж. Имашев, Т.К. Исабек, Ж.Б. Рашид, Д.Е. Ақбанбетова, Б. Мұратұлы**  
Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды к.

**ЖӘЙРЕМ КЕНОРНЫ ЖАҒДАЙЫНДА ТАУ ЖЫНЫСТАРЫ СІЛЕМІНЕ  
РЕЙТИНГІЛІК КЛАССИФИКАЦИЯНЫ ҚОЛДАНУ**

Тау жыныстары сілемінің рейтингілік класификациясы қазу жүйесін негіздеу, бекітпе параметрлерін тандау, қазбаларды жобалау, тау жыныстары сілемінің орнықтылығын бағалау секілді мәселелерді шешетін әмпирикалық тәсілдің негізін құрайды.

Тау жыныстары сілемінің рейтингілік жүйесі класификациясының Австралияда, Оңтүстік Африкада, АҚШ, Еуропа мен Индияда үлкен қолданысқа ие болу себептері:

- сілемнің орнықтылық деңгейінің шешімі кеңіштің геологиялық, маркшейдерлік және геотехникалық қызметтерінің зерттеулері негізінде қабылданады;

- рейтингілік жүйе тау-кен қазбаларын өту тәжірибесіне негізделген;

- рейтингілік класификация түрлі тау-кен-геологиялық және тау-кен-техникалық шарттарға байланысты бекітпе тандау үдерісін жеңілдетеді;

- сілемнің күйін бағалау үшін рейтингілік класификацияны енгізу - қазбаны өту тәжірибесін шоғырландыруға және қолдануға мүмкіндік береді.

Шетел тәжірибесіндегі қолда бар тау-кен сілемінің рейтингілік класификациясы [1, 2] келтірілген. Рейтингілік класификацияның дамуына Д. Дир, З. Беняуский, Н. Бартон, Д. Лобшир, Е. Хоек, К. Терцаги және т.б. бага жетпес үлестерін қосты. Посткеңестік ғалым, профессор Н.С. Бұлычев тау-кен қазбаларындағы жарықшақты жыныстардың орнықтылығын олардың өздігінен құлауға бейімділігіне байланысты балмен бағалау әдістемесін ұсынған [3].

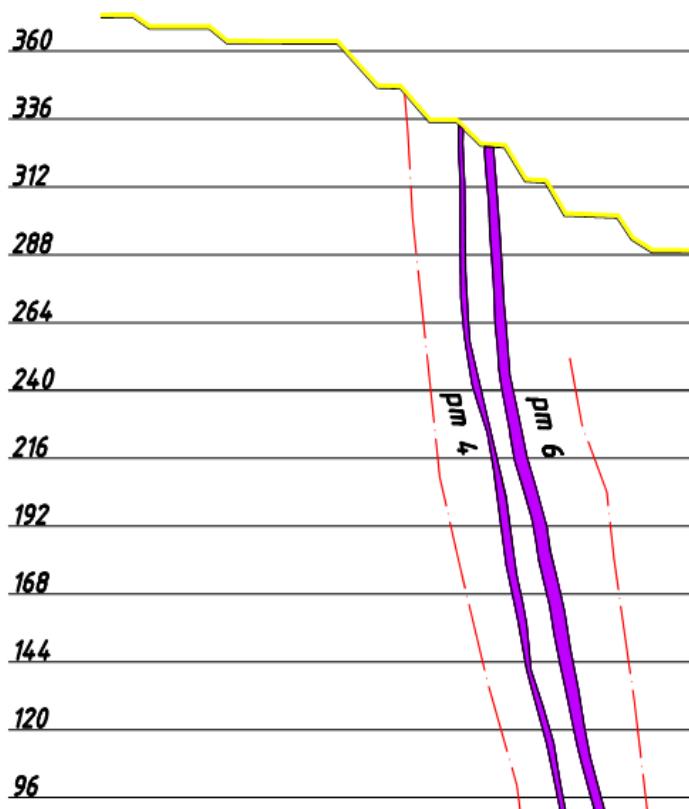
Жәйрем кенорнындағы «Ушқатын-3» кеңіші жағдайындағы тау жыныстары сілемінің орнықтылығын бағалау кезінде бекітпенің түрлері мен параметрлерін тандау үшін Н. Бартон бойынша Q-system [4], тазартпа кеңістігінің маңайындағы тау жыныстарының орнықтылығын талдау үшін З. Беняуский бойынша RMR [5] және Хоек-Браун бойынша GSI [6] рейтингілік класификациясы қолданылады.

«Ушқатын-3» кенорнындағы күртқұламалы кен денелері аралас тәсілмен игеріледі. Аршық пен жерасты кеңішінің арасындағы кен денесінен тұратын қорғаушы кентіректері және горизонт арасында тәбе кентіректері қалдырылған. Қазіргі уақытта тазартпа жұмыстары +96 м горизонтында жүргізіледі [7]. «Ушқатын-3» кеңішінің басшылығы жер бетінен +144 м горизонтына дейін аршық пен жерасты кеңішінің арасындағы қорғаушы кентіректерінің игеруін қарастырады (1-сурет).

Жұмыстың мақсаты қорғаушы және тәбе кентіректерінің маңайындағы тау жыныстары сілемінің геомеханикалық күйін сандық сараптау үшін рейтингілік класификацияның көмегімен бастапқы мәліметтерді дайындау болып табылады.

Сілемнің геомеханикалық күйінің сандық сараптамасы Хоек-Браунның беріктік критерийі бойынша жүзеге асырылады. Тау жыныстарының мықтылығы жайлы деректерді алған кезде негізгі құраушысы мықтылықтың геологиялық индексінің көрсеткіші (GSI)

бөлшіп табылады.



1-сурет – Зерттелетін кенорын бөллігінің геологиялық қимасы

XX ғасырдың 90-жылдарында Хоек және Браун ұсынған GSI көрсеткіші диаграммадан (2-сурет) таңдалады. GSI сілемнің жарықшақпен бұзылу дәрежесіне және RMR рейтингі (2-сурет) бойынша сілемнің орнықтылық санатына байланысты анықталады. Сонда GSI-ға шығу RMR рейтингі арқылы төмендегі карапайым арақатынаас бойынша жүзеге асырылады:

$$GSI = RMR - 5. \quad (1)$$

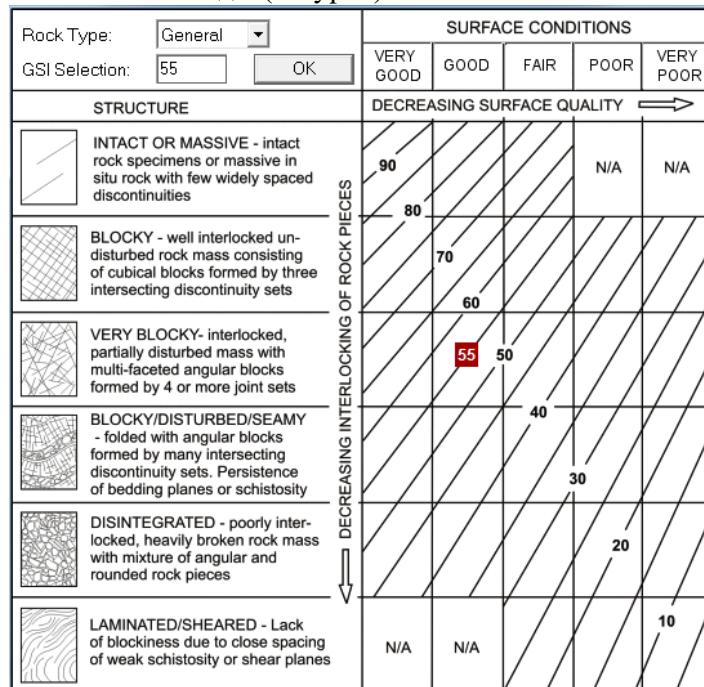
RMR рейтингі алты параметрден тұратын формуламен анықталады:

$$RMR = J_{A1} + J_{A2} + J_{A3} + J_{A4} + J_{A5} + J_B. \quad (2)$$

RMR рейтингін анықтау үшін тау жыныстары сілемнің келесі параметрлері мен құрылымдық көрсеткіштері анықталған: тау жыныстарының бір бағыттағы қысымға мықтылығы ( $J_{A1}$ ), тау жыныстары сапасының көрсеткіші RQD ( $J_{A2}$  – Д. Дир бойынша орнықтылық критерий) [8], жарықшақтар арасындағы арақашықтық ( $J_{A3}$ ), жарықшақтық шарты  $J_{A4}$  (бұдырлығы, ұзындығы, ажырауы, жарықшақтың үгілуі және толтырулар), сілемнің гидрогеологиялық жағдайы ( $J_{A5}$ ) және қазба өсіне байланысты жарықшақтардың бағыты ( $J_B$ ).

Кенорынның зерттелетін участкесі қолданыстағы қабаттардың орналасу тереңдігіне байланысты 5 аймақта бөлінген. Осы аймақтар үшін GSI және RMR көрсеткіштері анықталған. Нәтижелер 1-кестеге енгізілген.

GSI көрсеткіші физика-механикалық қасиеттерді айқындау кезінде және Хоек-Браун беріктік критерийі бойынша тау жыныстарының мықтылық құжатын құрастыру кезінде бастапқы мәлімет болып табылады (3-сурет).

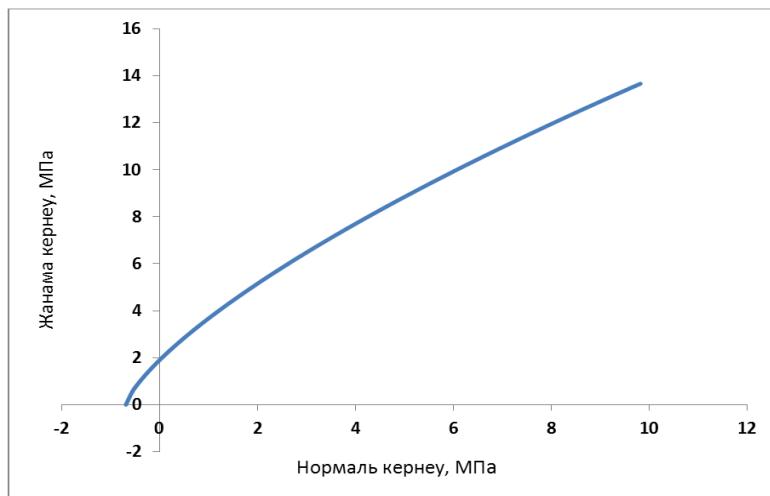


2-сурет – Мықтылықтың геологиялық индексін анықтау диаграммасы (GSI)

1-кесте

*RMR рейтингі мен GSI көрсеткішінің мәні*

Участкелер бойынша белгілер	Жер бетінен терендік, м	RMR	GSI	Ескертулер
373 – 288	85	62	57	Жер беті қабатының аймағы
288 – 240	133	60	55	Тасты сілем
240 – 192	181	65	60	Тасты сілем
192 – 144	229	67	62	Тасты сілем
144 – 96	277	67	62	Тасты сілем



3-сурет— Тау жынысының мықтылық құжаты

Хоек-Браун критерийі бойынша тау жыныстары сілемінің мықтылық параметрлері ( $m_b$ ,  $s$ ,  $a$ ) RocLab бағдарламасы көмегімен келесі деректер бойынша анықталады:

- бұзылмаған тау жынысының бір бағыттағы қысымға мықтылығы;
- GSI мықтылықтың геологиялық индексі;
- бұзылмаған тау жынысының параметрі;
- жарылғыс жұмыстары салдарынан сілемнің сапасын ескеретін коэффициент;
- бұзылмаған тау жынысының деформациялану модулі.

Хоек-Браун критерийі бойынша тау жынысының мықтылық параметрлерін анықтау нәтижелері 2-кестеде көрсетілген.

#### 2-кесте

#### Хоек-Браун критерийі бойынша беріктік көрсеткіштері

Участкелер бойынша белгілер	Бұзылмаған тау жынысының мықтылығы, MPa	$m_b$ параметрі	$s$ параметрі	Сілемнің деформациялану модулі, MPa
1	2	3	4	5
373 – 288	70	1,507	0,0084	11871
288 – 240	90	2,005	0,0067	25721
240 – 192	100	2,397	0,0117	36400
192 – 144	120	2,574	0,0147	47487
144 - 96	120	2,574	0,0147	47487

Хоек-Браун критерийі бойынша мықтылық параметрлері қорғаушы кентіректерінің өздігінен құлау үрдісі кезінде, тау жыныстары сілемнің кернеулі-деформациялық күйінің сандық модельдеуінің бастапқы мәліметі ретінде қолданылады.

Зерттеу нәтижесінде орнықты және орташа орнықты тау жыныстары үшін GSI көрсеткіші 55 пен 62 арасында ауытқуы анықталған.

Алынған мәліметтердің сараптамасы қарастырылып отырған мысалдың GSI көрсеткіші тау-кен жұмыстарын жүргізу тереңдігі артқан сайын өзгеруін көрсетеді. Бірақ 230 м тереңдікке жеткен кезде, GSI және Хоек-Браун критерийі бойынша тау жыныстары сілемнің мықтылық параметрі түрақты болып қалады.

Дереккөздер

1. Singh B., Goel R. Rock Mass Classification. – Printed in the Netherlands: Elsevier, 1999. – 267 p.
2. Кузмин Е.В. Рейтинговые классификации массивов горных пород и их практическое применение / Е.В. Кузмин, А.Р. Узбекова // ГИАБ. Семинар 13, 2004. – С. 181–185.
3. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1982. – 270 с.
4. Barton N., Lien R. and Lunde J. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, Rock Mechanics, Springer-Verlag, Vo.6, 1974. – pp. 189–236.
5. Bieniawski Z.T. Engineering Classification of Jointed Rock Masses, The Civil Engineer in South Africa, 15, 1973. – pp. 335–344.
6. Hoek E. and Brown E.T. Practical Estimation of Rock Mass Strength, Int. Jr. Rock Mech. and Min. Sci., Pergamon, Vol. 34, No. 8, 1997. – pp. 1165–1186.
7. Имашев А.Ж. Внедрение геологического индекса прочности (GSI) для горных пород месторождения «Ушкатын-3» / А.Ж. Имашев, Н.Б. Бахтыбаев, Д.К. Таханов и др. // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Интеграция науки, образования и производства – основы реализации Плана нации», (Сагиновские чтения № 7). – Караганда, 2015. – с. 43–44.
8. Deere D. U. Geological Considerations, Rock Mechanics in Engineering Practice, ed. R.G. Stagg and D.C. Zienkiewicz, Wiley, New York, 1968. – pp. 1–20.

Получено 15.12.2016

УДК 553.42+553.2 (574.4)

**А.И. Мизерный, А.П. Мирошникова, Г.Б. Оразбекова, М.А. Мизерная, З.И. Черненко**  
Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

**КРУПНЫЕ ЗОЛОТО-ТЕЛЛУРИДНЫЕ ШТОКВЕРКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЗАХСТАНА,  
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ, МЕТАЛЛОГЕНИЯ**

Казахстан – это богатейший геологический полигон в составе Центрально-Азиатского орогенического пояса, в пределах которого локализуются разнообразные по промышленным типам сырья и масштабам месторождения полезных ископаемых, в том числе крупные и суперкрупные. Известно, что крупные месторождения являются показателями и индикаторами хронологических рубежей, тектонических режимов и литолого-стратиграфических горизонтов земной коры [1-5]. Изучение подобных месторождений позволяет совершенствовать теоретические методы исследований, планирование научно-исследовательских и геологоразведочных работ и, как следствие, создает предпосылки открытия новых рудных районов и месторождений. Основная масса крупных месторождений Казахстана сформировалась в наиболее активные геодинамические этапы: островодужный, вулканоплутонических поясов, коллизионный.

Золото – стратегический вид полезных ископаемых Центральной Азии. Суммарный потенциал промышленного золота огромен и составляет около 20–25 тысяч тонн [2–4, 6–8]. С этапом позднего ордовика – раннего силура в Казахстане связано 27% ресурса золота. В условиях коллизии Казахстанского и Кыргызского микроконтинентов, раннего орогенеза и гранитизации отмечается проявление золотого штокверкового (Васильковское, Майкайын), золото-медно-железорудного скарнового (хантауский тип), золото-сульфидно-кварцевого жильного (Степняк), золото-сульфидного прожилково-вкрашенного (Кварцитовые горки) типа месторождений; в островодужных образованиях Чингыз-Тарбагатая в это время формируются золото-медно-колчеданные руды (Кусмурун, Акбастау, Мизек) [6, 9].

Более 24% ресурса золота Казахстана приходится на раннедевонский, средне-, позднедевонский тектонический этапы. Характерные типы месторождений: золото-медно-мо-

либден-порфировый, золото-медно-цинково-колчеданный и золото-серебро-колчеданно-полиметаллический (Николаевское, Риддер-Сокольное, Ново-Лениногорское, Малеевское), золоторудные жильный, штокверковый и прожилково-вкрапленный (Акбакай, Талдыбулак Левобережный, Юбилейное и др.) [10]. Для раннего, среднего и позднего карбона характерны месторождения (около 12% золота Казахстана): золоторудные жильные и штокверковые (Секисовское и др.), золото-медные скарновые, золото-медно-порфировые (Коксай), золото-медные комбинированные (Варваринское), золото-адуляр-кварцевые (Таскора), золото-серцицит-кварцевые, колчеданно-полиметаллические с золотом и серебром. Поздний карбон-пермь по суммарному ресурсу золота является самой богатой металлогенической эпохой в истории Центральной Азии (в Казахстане с ней связано около 30% ресурса золота), в соседних регионах (Россия, Узбекистан, Кыргызстан, Таджикистан, Монголия и др.) - более 70%. Главные золоторудные и золотосодержащие месторождения этого времени в Казахстане - Бакырчик, Большевик, Сузdalское, Пустынное, Долинное, Саяк [1, 3-6, 9].

Для позднего мела характерно широкое развитие площадных и линейных кор выветривания, с которыми генетически ассоциируют многочисленные, в т.ч. крупные экзогенные золоторудные объекты (Сузdalское) [2]. В палеоген-четвертичное время формируются россыпи благородных металлов: золотых, платиновых, золото-платиноидных [6].

Объектом данных исследований являются крупные золото-сульфидно-кварцевые штокверки и связанные с ними Au-Ag-Te-Vi-малосульфидные месторождения Казахстана. Месторождения данного типа приурочены к различным времененным уровням от раннего до позднего палеозоя: васильковско-кодагырский ( $O_3$ - $S_1$ ), райгородской ( $O_3$ - $S_1$ ,  $S_2$ ), юбилейный ( $D_2$ ), секисовский ( $C_{2-3}$ ). Ниже рассмотрены особенности геологии и рудообразования крупных комплексных золото-серебряно-теллуридных штокверковых месторождений (Васильковского и Секисовского), приуроченных к  $O_3$ - $S_1$  и  $C_{2-3}$  рудоносным эпохам [6, 7, 12, 13].

*Особенности геологического строения, магматизма и тектоники.* Золотоносные сульфидно-кварцевые штокверки, как правило, локализуются в центральных и эндоконтактовых зонах интрузий, приурочены к контракционным трещинам, полостям отрыва, скрытым эксплозивным брекчиям [6, 12-13]. Продуктивными в них являются ранние высоко- и среднетемпературные золото-редкометалльная и золото-мышьяковая геохимические ассоциации. Эталоном в Казахстане является гигантский золото-сульфидно-кварцевый штокверк Васильковского месторождения в Северном Казахстане. Васильковское месторождение локализуется в пределах западной части Шатской металлогенической зоны северо-западного простирания в Алтай-Саянском орогенном поясе. Оно приурочено к метаморфическому фундаменту протерозоя, прорванному гранитоидами ордовика и перекрытому более поздними палеозойскими отложениями. Эта область была подвергнута процессам выветривания в мезозое и перекрыта кайнозойскими песчаными и глинистыми отложениями [7]. Васильковский рудный район расположен в узле пересечения региональных разломов северо-западного (Донгульагашский, Алексеевский), северо-восточного (Васильковско-Березовский) и широтного (Широтный) направлений. Район месторождения сложен Северо-Кокшетауским куполовидным дифференцированным верхнеордовикским интрузивом зерендинского комплекса (габбро, габбро-диориты, диориты, гранодиориты, шлагиограниты, монцониты). Для интрузивных пород характерны сложные фазово-фациальные переходы и частая перемежаемость пород, полосчатость, шлировые обособления, наличие магматитов, ветвящиеся апофизы (рис. 1,а). Породы объединены в две серии: «габбровую серию» (включающую габбро, габбродиориты, дио-

риты, кварцевые диориты) и «гранодиоритовую серию» (состоящую из плахиогранитов, гранодиоритов и гранитов). В гранодиоритах широко развита площадная калишпатизация с порфиробластами вторичного микроклина красного, розовато-серого и серого цветов, составляющими от 5-10 до 45-70% от объема породы. Среди дайковых образований преобладают кислые породы: мелкозернистые граниты, аплитовидные граниты, пегматиты.

Пегматиты слагают пологопадающие маломощные тела и шлировые выделения. Красноцветные осадки  $D_{2-3}$  и терригенно-карбонатные отложения  $C_1$  возраста расположены на юго-западном фланге района. Северо-восточный фланг сложен углеродисто-терригенно-карбонатными породами верхнего рифея-венда (шарыкская свита) с повышенным фоном золота, амфиболитами, кристаллическими сланцами и гнейсами нижнего и среднего протерозоя, а также флишиодами среднего и верхнего ордовика. Васильковское золоторудное поле локализовано в узле пересечения Донгульгашского и Васильковско-Березовского разломов и характеризуется каркасно-блоковым тектоническим строением и контрастными гидротермальными изменениями пород.

Район Секисовского месторождения располагается в пределах Алейской подзоны Рудноалтайской структурно-формационной зоны. В геологическом строении района принимают участие вулканиты девона среднего, основного и кислого состава с прослоями туфопесчаников, алевролитов и известняков. Отложения карбона на описываемой территории слагают несколько участков в северо-восточной части района месторождения и представлены известковисто-глинистыми и глинистыми алевролитами, песчаниками. Рудное поле Секисовского месторождения локализовано в пределах многофазного габбродиорит-диорит-гранодиорит-гранитового Секисовского массива змеиногорского коллизионного комплекса. Магматиты прорывают вулканогенно-осадочные породы фаменского и нижнекаменноугольного возрастов. Северо-восточная часть рудного поля осложнена региональными тектоническими нарушениями северо-западного простирания, в которых локализуются зоны эксплозивно-гидротермальных брекчий [7, 8].

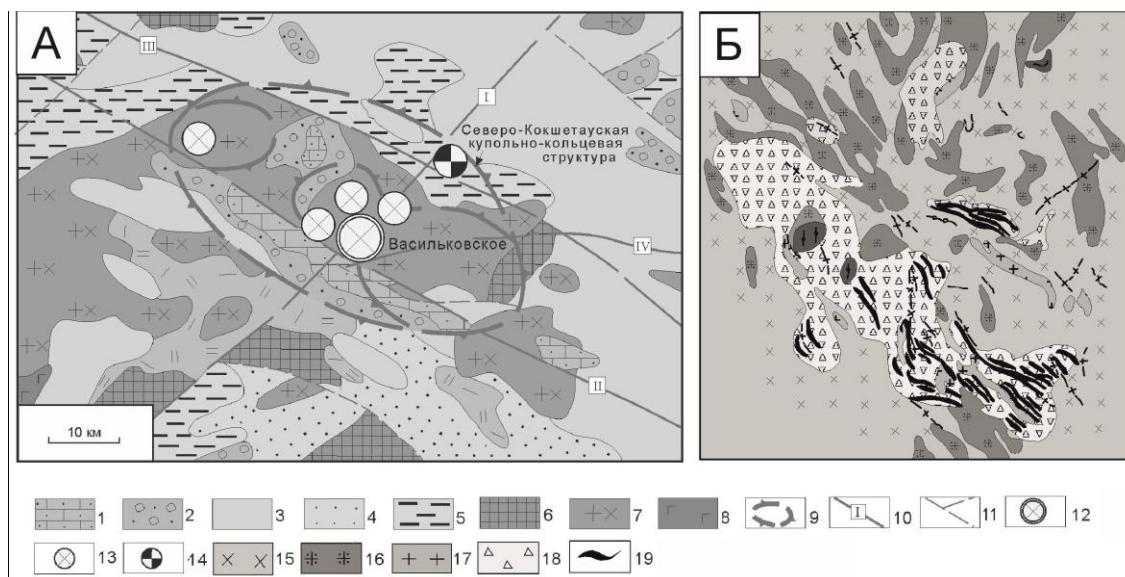


Рисунок 1 – а - геолого-структурная позиция Васильковского золоторудного района (по М.С. Рафаиловичу, 2009 г.); б – схематическая геологическая карта Секисовского месторождения (Фрейман Г.Г. и др., 1998). 1-8 – геологические формации: 1 – терригенно-карбонатная  $C_1$ , 2 – молассо-

вая конгломерат-песчаниковая D<sub>2-3</sub>, 3 – терригенная, вулканогенно-терригенная O<sub>1-2</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>2-3</sub>, 4 – терригенная кварцитопесчаниковая R<sub>3</sub>-V (кокшетауская свита), 5 – углеродисто-терригенно-карбонатная R<sub>3</sub>-V (шарыкская свита), 6 – амфиболит-гнейсовая PR<sub>1-2</sub> (зерендинская серия), 7 – батолитов пестрого состава O<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> (зерендинский интрузивный комплекс), 8 - габбро-габбродиоритовая €; 9 – купольно-кольцевые структуры, 10 – региональные разломы (I – Васильковско-Березовский, II – Донгульгашский, III – Алексеевский, IV – Широтный); 11 – разломы второго и третьего порядка, 12-13 – золото-сульфидно-кварцевые объекты штокверкового типа (12 – очень крупное Васильковское месторождение, 13 – мелкие месторождения и рудопроявления); 14 – золото-колчеданно-барит-полиметаллическое месторождение Березовское, 15 – гранодиориты, кварцевые диориты; 16 – биотит-роговообманковые граниты, плагиограниты; 17 – аплитовидные граниты, гранит-порфиры; 18 – эксплозивные брекчии смешанного и кислого состава; 19 – золоторудные тела

В строении рудного поля Секисовского месторождения принимают участие магматиты четырех фаз становления змеиногорского комплекса. Преобладают гранодиориты и диориты второй и плагиограниты третьей фазы внедрения комплекса (более 90%). Породы первой фазы (габбро, габбро-диориты) слагают останцы среди магматитов поздних фаз. Породы второй фазы (диориты-гранодиориты) внедрения слагают 35-40% центральной части рудного поля, а на флангах имеют весьма ограниченное распространение. Породы третьей фазы, среди которых резко преобладают плагиограниты, составляют основную (более 60%) часть рудного поля, имея преимущественное распространение на флангах (рис. 1,б). Породы четвертой фазы (биотитовые граниты, плагиограниты) развиты незначительно в узлах пересечения разрывных нарушений различного направления на юго-восточном и северо-западном флангах рудного поля и слагают тела размером от 0,5 x 1,0 до 1,0 x 2,0 км. Широко проявлена дайковая серия, представленная мелко- и микрозернистыми диоритами, диоритовыми порфиритами, аплитовидными гранитами, гранит-порфирами, кварцевыми альбит-порфирами, фельзитами.

Из разрывных структур наиболее важной является Шемонаихо-Секисовская зона разломов северо-западного простирания, которые в сочетании с флексураобразными изгибами и разрывами других направлений контролируют размещение эксплозивно-гидротермальных брекчий, рудных тел и даек. Субмеридиональные и северо-восточные нарушения с субвертикальными и крутыми углами падения являются более поздними, обуславливают блоковую структуру месторождения, влияют на морфологию тел дайковой серии и приводят к сдвиговым перемещениям [7].

*Характеристика оруденения.* Васильковское месторождение приурочено к контакту габбро-диоритов и диоритов с роговообманково-биотитовыми гранодиоритами и плагиогранитами. Сечение штокверка на поверхности – первые сотни метров, вертикальная протяженность – до 1,0-1,5 км. Средние содержания золота 3-5 г/т. Штокверк состоит из серии золотоносных струй, склоняющихся под углами 35-40° в юго-западном направлении. Месторождение характеризуется объемно-концентрической метасоматической, минеральной и геохимической зональностью.

В породах Васильковского месторождения широко развиты локальные гидротермальные изменения: калишпатизация, березитизация, окварцевание, альбитизация, хлоритизация и др. Дорудная локальная калишпатизация представлена сериями субпараллельных зон, сложенных жилами и прожилками полевошпатового и кварц-полевошпатового состава. Синрудный микроклин развит по обрамлению золотоносных кварц-арсенопиритовых и арсенопиритовых жилок в виде каемок и полос мощностью до 1-5 см [6]. Самый поздний, переотложенный калишпат, образует маломощные (0,1-0,5 см) извилистые, ни-

теобразные просечки, секущие кварц-арсенопиритовые жилы, линзы и гнезда. С калишпатитами ассоциирует вкрапленная золото-висмут-пирит-арсенопирит-кварцевая минерализация. Березиты (кварц, серицит, мусковит, карбонат, хлорит, пирит, арсенопирит) размещаются по разрезу выше калишпатитов. В них совмещены две минеральные ассоциации: ранняя вкрапленная золото-пирит-арсенопирит-кварцевая и поздняя жильно-прожилковая золото-кварц-полиметаллическая (самородное золото, кварц, блеклая руда, теллуриды, галенит, тетрадимит). Максимально продуктивное золотое оруденение локализовано в участках совмещения березитов и калишпатитов. Хлорит-альбитовые метасоматиты развиваются по восстанию рудоносных структур на сотни метров. Широко распространены жильные минералы (кварц, карбонат, турмалин, серицит, флюорит), которые образуют закономерные соотношения с рудно-метасоматическими телами [7].

Основу рудного штокверка слагают кулисообразные, субпараллельные, взаимопересекающиеся жилы и прожилки рудной стадии, представленные мелкозернистым темно-серым кварцем с сульфидами и самородным золотом. Наиболее крупные (мощностью до 0,5-1,0 м) золотоносные жилы развиваются во фронтальной зоне. Пострудные образования проявляются кальцит-кварц-серизитовой, флюорит-карбонатной, кварц-турмалиновой и карбонат-эпидот-пренитовой ассоциациями. Жилы, прожилки и гнезда кальцит-кварц-серизитового состава распространены на средних и верхних горизонтах; кварц-турмалиновая ассоциация расположена в самой верхней части месторождения; флюорит – в корневой части; карбонат-эпидот-пренитовая ассоциация обрамляет золотоносный штокверк [7].

Рудовмещающими породами на Секисовском месторождении являются брекчии, имеющие трубообразную, вытянутую форму, размером от 40x100 до 120x500 м. Их прослеженная длина на глубину превышает 950 м. Рудоносные эксплозивные брекчии состоят из обломков магматических пород (диоритов, плагиогранитов и переходных между ними разностей), сцементированных тонкоизмельченным материалом того же состава, либо жильными кварцевыми, кварц-карбонатными гнездами и прожилками с вкраплениями рудных минералов – пирита (преобладает), сфalerита, галенита. Выделено 4 типа эксплозивно-гидротермальных брекчий: брекчии среднего, средне-основного, смешанного и кислого составов. Установлены мелко- и крупнообломочные разности брекчий тел. Для первых характерна более интенсивная степень гидротермальных изменений. Размер обломков колеблется от 0,1 до 2 м, преобладают обломки 0,1-0,5 м, иногда встречаются крупные блоки вмещающих пород. Сцементированы брекчии перетертым, гидротермально-измененным материалом пород кварц-серизит-хлоритового состава с вкрапленностью сульфидов (главным образом пирита), редко с включениями останцов пород. Содержание сульфидов в цементе брекчий неравномерное и изменяется от долей процента до 15%, в среднем 5%. Золотое оруденение пространственно и генетически связано с сульфидами, однако прямой корреляции между содержаниями сульфидов и золота не установлено [8].

Золото распределено неравномерно, образуя своеобразный гнездово-струйчатый тип оруденения. Повышенные концентрации (струи) золота возникают в контактах различных типов брекчий, а также в контактах брекчии с вмещающими диоритами и дайками кислого состава. На месторождении выделяются 5 минерализованных золотоносных зон, в каждой из которых локализуется целая группа рудных тел: центральная, в которой выделяются 2 подзоны – северо-восточная и юго-западная; северная; северо-западная; западная; юго-западная. По падению основные рудные тела не оконтурены, форма тел лентовидная и линзовидная с преобладанием длины по падению над шириной по простиранию. Средняя мощность рудных тел колеблется от 0,58 до 3,28 м. Ориентировка рудных тел по простиранию совпадает с ориентировкой рудных зон (брекчий) [8-13].

**Минерализация.** На Васильковском месторождении выделяют несколько минеральных ассоциаций. Ранняя, пирит-пирротин-марказит-кварцевая; собственно рудная золото-пирит-арсенопирит-кварцевая (с пирротином, леллингитом, халькопиритом), золото-висмут-пирит-арсенопирит-кварцевая (с молибденитом, шеелитом, кубанитом, самородным висмутом, висмутином, тетрадимитом, смешанной блеклой рудой) и золото-полиметаллическая (с халькопиритом, сфалеритом, галенитом, теннантитом). Поздняя кварц-карбонат-антимонит-тетраэдритовая [7-13].

Пириты и арсенопириты развиты во всех ассоциациях, но в основном концентрируются в золотоносных кварцевых жилах и прожилках. Пирит образует агрегативные скопления, кубические и кубоктаэдрические кристаллы, содержащие тонкие зерна самородного золота и висмутина. Арсенопирит слагает жилки, розетчатые и гребенчатые образования, линзо- и гнездообразные скопления, неравномерную вкрапленность в кварце и гидротермально измененных породах. Встречается в виде порфиробластовых и гипидиоморфно-зернистых выделений, игольчатых, короткокристаллических и псевдобипирамидальных кристаллов размером от тысячных долей миллиметров до 2-4 мм. Арсенопириты содержат Au (до сотен г/т), Ag (5-50 г/т), Bi (до 100-300 г/т), Pt (0,3-0,5 г/т), Cu, Pb, Zn, Co (до 0,01-0,1%), Mo (до 20-50 г/т). В верхних горизонтах арсенопириты обогащены Sb, Ag, Cu, на средних и глубоких – Zn, Mo, Bi, Co, Ni.

Высокоточные электронно-микроскопические исследования показали, что основная масса золота связана с пирит-арсенопирит-кварцевой и висмутин-пирит-арсенопирит-кварцевой ассоциациями. Выделены две генерации золота: в арсенопирите и свободное в кварцевых жилах. Размеры золотин составляют от десятых долей мкм до 0,2 мм, формы округлые, амебообразные, комковидные и неправильные, реже в виде ромбододекаэдрических кристаллов и их сростков (рис. 2,а).

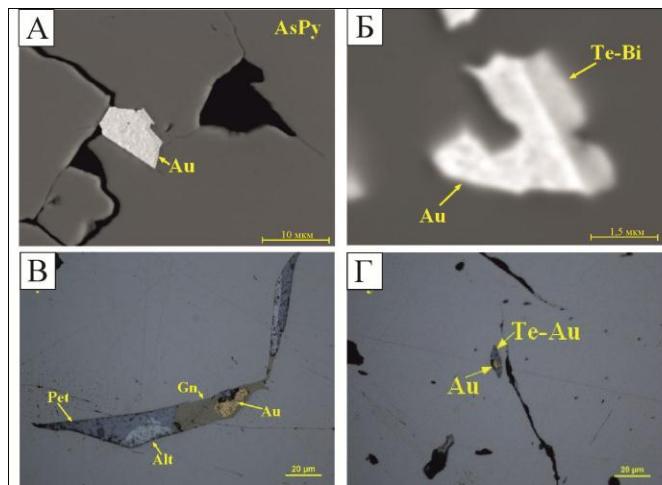


Рисунок 2 – а – самородное золото в руде Васильковского месторождения; б – самородное золото в сростке с теллуром и висмутом в руде Васильковского месторождения; в – самородное золото и алтит в руде Секисовского месторождения; г – самородное золото в сростке с теллуром и висмутом в руде Секисовского месторождения (Au – золото самородное; AsPy - арсенопирит; Te-Bi - теллуромисмутит; Pet- петцит, alt – алтит; gl- галенит; Te-Au – теллуриды золота)

Главные элементы-индикаторы месторождения – Au, As, Bi, менее контрастными явля-

ются W, Sb, Ag, Cu, Pb, Hg. Золото – сквозной элемент с содержаниями (г/т): в околоврудных породах – 0,37; рудных зонах – 1,0; рудных телах – 3,7; рудных столбах – более 10 [12, 13, 17]. Средние и высокие содержания золота тяготеют к центральной части рудоносного штокверка, низкие – к периферии. Висмут тесно связан с пирит-арсенопиритовой минерализацией (рис. 2,б). Во вкрашенных и прожилково-вкрашенных рудах содержания Bi – 5-10 г/т, в прожилковых – 10-50 г/т, в рудных столбах – до 100-1500 г/т. Золото образует тесные корреляционные связи с элементами рудной стадии – Bi, As, Ag, Pb, Cu [7].

В первичных рудах Секисовского месторождения развито два минеральных парагенезиса. Для ранних брекчий (на средних и глубоких горизонтах) характерен золото-железомедно-редкометалльный парагенезис (золото I, кварц, магнетит, пирротин, марказит, пирит, шеелит, висмутин, молибденит, халькопирит). На позднем этапе, при формировании брекчий смешанного типа, отложилась золото-серебро-висмут-теллур-полиметаллическая ассоциация (с золотом II, самородным серебром, теллуридами, кварцем, карбонатами, пиритом, халькопиритом, алтайтом, айкинитом, теннатитом, галенитом, сфалеритом, гринокитом, теллуровисмутином, петцитом, гесситом, кренеритом, калаверитом, сильванитом) на верхних уровнях брекчииевидных тел. Данная ассоциация контролируется дайками кварцевых альбитофитов, гранит-порфиров и фельзитов [8]. Преобладают жилки кварц-карбонатного и кварц-сульфидного составов. Золото находится в виде свободного металла, теллуридов (рис. 2,в,г), тонкодисперсных примесей в сульфидах. Индикаторы оруденения – Au, Bi, Ag, попутные компоненты – Mo, W, Cu, Pb, Zn, Te, Co и др. Золото имеет бимодальное распределение как в зоне окисления, так и в первичных рудах. Для зоны окисления ведущими являются содержания 10-60 г/т (42,5%), подчиненными – 1-6 г/т (32,1%). Максимальные концентрации золота в окисленных рудах – 200-250 г/т, среднее – 23 г/т. В первичных рудах доминирует золото класса 2-6 г/т (44,5%), при подчиненной роли концентрации 20-60 г/т. В единичных пробах золото до 500-600 г/т (рудные столбы). Диапазон концентраций серебра в окисленных рудах 2-200 г/т с преобладанием класса 20-60 г/т (49,1%). Для первичных руд характерны моды Ag 2-10 г/т (55%) и 20-35 г/т (12,5%). Кривые распределения Ag/Au для зоны окисления и первичных руд повторяют друг друга.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

Золоторудные месторождения штокверкового типа характеризуются длительным диапазоном рудоподготовительных и рудообразующих процессов, обстановками мезотермальных глубин в периоды высокой тектонической активности земной коры. Они тяготеют к региональным шовным зонам крупных литосферных блоков и локально приурочены к куполам, кольцевым структурам, надвигам, зонам смятия. Для них характерны многофазные интрузивы гранитоидов повышенной и высокой щелочности, метаморфизм вмещающих пород, гидротермальные изменения (калишпатизация, березитизация, пропилитизация), эксплозивные брекчии, Au-Ag-Bi-Te специализация, несколько генераций самородного золота, зональное строение штокверков. Васильковское и Секисовское месторождения обладают высоким сырьевым потенциалом с перспективами прироста запасов на глубину и на флангах в пределах узлов пересечения и смещения тектонических разломов разного порядка. Размах концентрации золота в золотоносных брекчиях от десятых долей и первых единиц г\т (Васильковское) до сотен – первых тысяч г\т (Секисовское, Таскора). Разнообразие теллуридов золота, серебра, высокое содержание минералов висмута повышает рентабельность освоения месторождений данного типа. Комплексность месторождений ставит новые задачи для разностороннего учета основных и попутных компонентов при проведение всех стадий их разведки и эксплуатации [12-13].

Авторы высказывают благодарность руководству и специалистам компаний Hamble-

don Mining и ТОО «Казцинк». Исследования выполнялись в рамках госбюджетной темы № 58 -313-2015, МОН РК.

#### Список литературы

1. Kruk N.N. Early-Middle Paleozoic granitoids in Gorny Altai, Russia: Implication for continental crust history and magma sources // Journal of Asian Earth Sciences. 2011. - V. 42. - № 5. - P. 928-948.
2. Рафаилович М.С. Крупные месторождения золота в черносланцевых толщах: условия формирования, признаки сходства / М.С. Рафаилович, М.А. Мизерная, Б.А. Дьячков. - Алматы, 2011. - 272 с.
3. Naumov E., Borisenko A., Kovalev K., Kalinin Y., Fedoseev G., Seltmann R.. Gold deposits of Western Siberia and Eastern Kazakhstan: types and ages of mineralization, correlation with magmatic events //Let's Talk Ore Deposits: 11 th SGA Biennial Meeting. - Antofagasta, 2011. - P. 82-84.
4. Newall P. Competent person's report for the assets held by Kazzinc Limited in Kazakhstan and Russia. Wardell Armstrong International. - Truro, UK, 2011.
5. Абишев В.М. Геология, вещественный состав и геохимические особенности Васильковского золоторудного месторождения / В.М. Абишев, Е.В. Баханова, Ю.М. Зорин и др. // Геология, геохимия и минералогия золоторудных районов и месторождений Казахстана. - Алма-Аты, 1972. - С. 107-162.
6. Рафаилович М.С. Золото недр Казахстана: геология, металлогения, прогнозно-поисковые модели. - Алматы, 2009. - 304 с.
7. Фрейман Г.Г. Закономерности локализации золотого оруденения на Секисовском месторождении // Автореф. дисс. ... канд. г.-м. наук. - Алма-Ата, 1985. - 18 с.
8. Нарсеев В.А. Брекчевые образования золоторудных месторождений / В.А. Нарсеев, Г.Б. Левин // Рудоносные брекчии и их поисковое значение. - Алма-Ата, 1977. - С. 183-203.
9. Константинов М.М. Золоторудные гиганты России и мира / М.М. Константинов, Е.М. Некрасов, А.А. Сидоров и др. - М.: Научный мир, 2000. - 272 с.
10. E. Naumov, A. Mizerny, R. Seltmann, K. Kovalev, A. Izokh Mineralization style and geochronology of the Sekisovka gold deposit, eastern Kazakhstan 12 th SGA Biennial Meeting, Uppsala, 2012.
11. Large R.R., Maslennikov V.V., Robert F., Danyushevsky L.V., Chang Z. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log Deposit, Lena gold province, Russia// Economic Geology. V.102. 2007. - P.1233-1267.
12. Frost C.D., Frost B.R. On ferroan (A-type) granitoids: their compositional variability and modes of origin // J. Petrology. 2011. V. 52. P.39-53.
13. Wenchao Su, Hongtao Zhang, Ruizhong Hu, Xi Ge, Bin Xia, Yanyan Chen, Chen Zhu Mineralogy and geochemistry of gold-bearing arsenian pyrite from the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China: implications for gold depositional processes // Mineralium Deposita. - 2012. - Volume 47. - Issue 6. - P. 653-662.

Получено 15.12.2016

УДК:913:502.63 (282.255.582)

**Ж.Т. Мукаев**

Государственный университет им. Шакрима, г. Семей

**Ж.О. Озгелдина**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана

#### ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРИГОДНОСТИ ЛАНДШАФТОВ БАССЕЙНА ОЗЕРА АЛАКОЛЬ ДЛЯ ТУРИЗМА И РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В последние десятилетия вопросы туризма и рекреации являются одними из актуальных задач современной географической науки. Развитие рекреации и туризма – одна из основных ярко выраженных общемировых тенденций.

Приозерные зоны отдыха озера Алаколь обладают значительным рекреационным потенциалом. Наиболее аттрактивные объекты бассейна озера Алаколь, расположенные вблизи таких сел, как Кабанбай в Восточно-Казахстанской области и Коктума, Акши в Алматинской области. Озеро Алаколь имеет лечебные грязи и рапу. На берегу озера построены санатории, дома отдыха, летние туристические и оздоровительные лагеря.

У озера в туристическом плане большое будущее. Природно-климатические условия региона благоприятны для отдыха и знакомства с местными достопримечательностями. Территориальные рекреационные системы сосредоточены в основном в восточной и южной части озера. Намечается освоение и других побережий большого уникального озера Алаколь.

Все эти условия требуют выполнения научных исследований, направленных на выявление рекреационных ресурсов, их учета и рационального использования. Комплексная оценка функциональной пригодности ландшафтов заключается в определении «коэффициента привлекательности» ландшафтов для рекреационной деятельности. При выявлении «коэффициента привлекательности» ландшафтов мы ориентировались на данные литературных источников [1, 2].

Исходным материалом для рекреационной оценки является ландшафтная карта и сумма возможных рекреационных функций изучаемого ландшафта. Территориальными единицами для выполнения оценки устойчивости к рекреационной деятельности выступали виды ландшафтов. На территории бассейна озера Алаколь нами было выделено 68 видов ландшафтов. Ландшафтная карта составлена согласно методическому подходу к изучению геосистем аридных территорий [3]. Коэффициент пригодности определялся нами по следующей формуле:

$$K_{np} = C_{\phi n} / C_{\phi p}, \quad (1)$$

где  $C_{\phi n}$  – сумма функций ландшафта;  $C_{\phi p}$  – сумма функций региона (бассейн озера Алаколь в целом);  $K_{np}$  – коэффициент пригодности.

$K = 1$  обозначает максимальную степень аттрактивности (привлекательности).

В результате комплексной оценки функциональной пригодности ландшафтов для каждого ландшафта было вычислено число видов рекреационной деятельности, т.е. число функций рекреации. Нами на всей территории бассейна озера Алаколь было выделено 24 возможных функции (табл. 1).

Таблица 1  
*Виды и функции рекреационной деятельности*

Виды и функции рекреационной деятельности	
Научно-познавательная функция	геолого-геоморфологические объекты; гидрогеологические; ботанические и зоологические; археологические и исторические-этнографические
Лечебная функция	климатолечение; бальнеолечение; гязелечение; кумысолечение
Спортивная функция	охота-рыбалка; сбор грибов, ягод и лекарственных растений; катание на катерах и гидроциклах; парараплан (парасейлинг); виндсерфинг; кайтсерфинг;

	гребля; сплавы (рафтинг); конный туризм; пешеходный туризм (треккинг); велотуризм; автотуризм (джиппинг); альпинизм
Оздоровительная функция	купально-пляжный; солнечные ванны; культурно-массовый (фестивали, ярмарки и т.д.)

Результаты рекреационной оценки полученных параметров были занесены в общую сводную таблицу «Суммы функций ландшафта» и в последующем выведен коэффициент функциональной пригодности по формуле (1) (табл. 2).

Проведенные расчеты позволили сделать следующие выводы:

1. Наименее пригодны для рекреации районы, где коэффициент пригодности до 0,1. К этим районам относятся полупустынные и пустынные ландшафты западной части бассейна озера Алаколь. Ввиду обширности территории, незначительного горизонтального расчленения рельефа наиболее приемлемые виды туризма, возможные в данных ландшафтных районах, – это авто- и пешеходный туризм.

2. Пригодные для рекреации районы с коэффициентом от 0,1 до 0,5: горные и предгорные ландшафты Жетысуского Алатау и Тарбагатая. Горные и предгорные ландшафты характеризуются разнообразием рекреационных функций. Здесь можно увидеть смену высотных ландшафтных поясов севера: полупустынный, горностепной, горнолесной, альпийский, а также провести наблюдения за редкими животными и птицами. Наряду с разнообразием природно-ориентированных функций в горных ландшафтах можно развивать такие виды спортивных функций как: сбор грибов, ягод и лекарственных растений, пешеходный туризм (треккинг), велотуризм (маунтинбайк), альпинизм и т.д.

3. Наиболее пригодные ландшафты с коэффициентом выше 0,5. Это межгорные озерно-аллювиальные равнины, примыкающие к озеру Алаколь (Кабанбай, Акши, Коктума, Коктал).

Таблица 2  
*Сумма функций ландшафтов и коэффициент функциональной пригодности ландшафтов бассейна озера Алаколь*

Ландшафт	Коэффициент привлекательности	Ландшафт	Коэффициент привлекательности
1	0,08	35	0,2
2	0,08	36	0,2
3	0,08	37	0,2
4	0,08	38	0,04
5	0,08	39	0,2
6	0,04	40	0,2
7	0,04	41	0,2
8	0,04	42	0,2
9	0,04	43	0,1
10	0,04	44	0,3
11	0,04	45	0,3
12	0,04	46	0,3
13	0,04	47	0,2

14	0,04	48	0,2
15	0,04	49	0,2
16	0,2	50	0,1
17	0,2	51	0,1
18	0,3	52	0,2
19	0,3	53	0,2
20	0,3	54	0,5
21	0,2	55	0,1
22	0,2	56	0,1
23	0,3	57	0,1
24	0,3	58	0,3
25	0,1	59	0,3
26	0,2	60	0,2
27	0,2	61	0,5
28	0,2	62	0,5
29	0,2	63	0,5
30	0,2	64	0,1
31	0,2	65	0,1
32	0,2	66	0,2
33	0,2	67	0,2
34	0,2	68	0,1

Рекреационный потенциал озера Алаколь представляет интерес для развития лечебных, оздоровительных и спортивных видов отдыха (купально-пляжного, пешеходного, конного), что обусловлено благоприятными климатическими условиями. Большой интерес также представляет использование лечебных грязей озера Алаколь, которые применяются при лечении различных заболеваний суставов, радикулитов, кожных недугов, восстановлении после травм. Большинство рекреантов на озере Алаколь предпочитают купально-пляжный отдых. Здесь отдыхающие могут получать самые разнообразные виды оздоровительно-спортивного отдыха: купание, солнечные ванны, игра с мячом, катание на гидроциклах, парапланеры, прогулки по берегу и т.д. В регионе расположены памятники раннего железного века: могильники Акши и памятники эпохи средних веков – городища Ушарал и Коктума. Также здесь сложились благоприятные условия для развития природоведческих экскурсий на уникальные озера Алаколь-Сасыккольской группы, на места гнездовий водоплавающих.

Полученные данные позволили составить карту степени пригодности ландшафтов бассейна озера Алаколь для туризма и рекреации (рис. 1).

По коэффициенту рекреационной пригодности основная рекреационная нагрузка приходится на территории побережья озера Алаколь (Кабанбай, Коктума и Акши), это объясняется прежде всего тем, что Алакольское побережье имеет наилучшие условия для развития пляжного, санаторно-курортного хозяйства и многих видов отдыха и туризма, что связано с благоприятными природно-климатическими условиями и экономико-географическим положением.

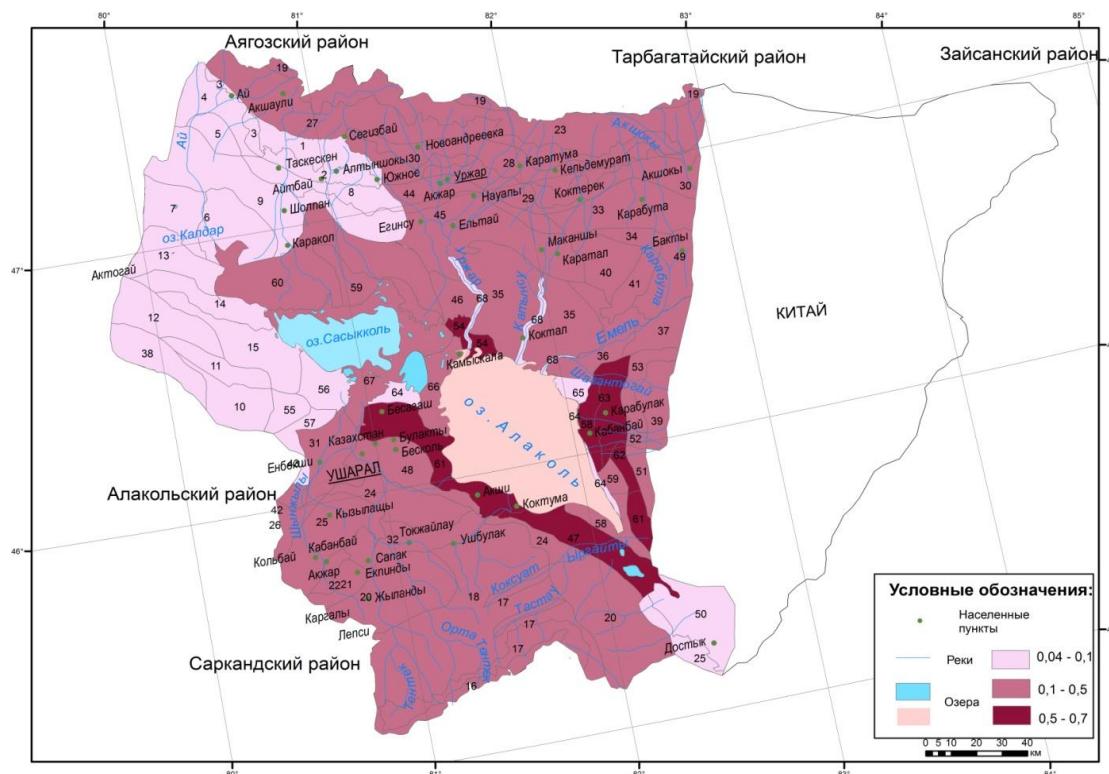


Рисунок 1 – Карта функциональной пригодности ландшафтов для туризма и рекреационной деятельности

Рекреация и туризм занимают важное место в экономике Алакольского региона. Интенсивное рекреационное и хозяйственное освоение региона привело к увеличению антропогенной нагрузки на ландшафты бассейна озера Алаколь. В целях дальнейшего устойчивого развития региона возникла необходимость в изучении влияния рекреационных и хозяйственных факторов на состояние окружающей среды.

#### Список литературы

1. Котляров Е.А. География отдыха и туризма. Формирование и развитие территориальных рекреационных комплексов. – М.: Мысль, 1978. – 238 с.
2. Кусков А.С. Рекреационная география / А.С. Кусков, В.А. Голубева, Т.Н. Одинцова: Учеб.-метод. комплекс. – М.: Флинта, 2005. – 496 с.
3. Гельдыева Г.В. Ландшафты Казахстана / Г.В. Гельдыева, Л.К. Веселова. – Алма-Ата: Фылым, 1992. – 176 с.

Получено 12.11.2016

УДК 669.884.(574)

**В.И. Самойлов, Ж.С. Оналбаева, Г.С. Бекимбаева, Н.А. Кулунова, Г.Б. Жакупова, М.Ә. Әділқанова, Г.А. Кокаева, С.А. Абдулина**  
Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,

г. Усть-Каменогорск

## КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕРНОКИСЛОТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОЙ СМЕСИ МИНЕРАЛОВ ЛИТИЯ

Благодаря уникальным свойствам лития, он играет значительную роль в индустриальном развитии современного общества. Областями применения лития являются химическая промышленность, химические источники тока, а также смазочные материалы. Также Li можно использовать при обработке воздуха, в алюминиевой промышленности и непрерывном литье, производстве его изотопов, а также производстве пластмасс, резин и в фармацевтической промышленности. Растущий рынок электронной техники, рост популярности гибридных автомобилей, глобальное проникновение мобильных устройств также создают спрос на литий. Каждому из них требуются литиевые материалы определенной спецификации [1-3].

К настоящему времени появился ряд работ, направленных на создание гидрометаллургии лития в Казахстане [4-6]. Эти работы посвящены главным образом разработке гидрометаллургической литиевой технологии переработки литиевых руд Восточно-Казахстанского региона.

Сернокислотное извлечение лития из лепидолита  $[KLi_{1.5}Al_{1.5}(AlSi_3O_{10})(F,OH)_2]$  и сподумена  $[KLiAl(Si_2O_6)]$ , применяемое в гидрометаллургии лития, характеризуется высокими производственными расходами из-за необходимости проведения дорогостоящей термической активации указанного сырья перед сернокислотным извлечением лития из указанного сырья (температура термоактивации составляет свыше 1000 °C) [3-11].

Целью данных исследований являлось определение лимитирующей стадии процесса извлечения лития из механоактивированной смеси лепидолита и сподумена. Для достижения поставленной цели решены задачи, направленные на установление кинетических закономерностей полноты вскрытия указанной смеси от температуры и продолжительности сернокислотного извлечения лития в водорастворимый  $Li_2SO_4$ . При определении величины кажущейся энергии активации взаимодействия механоактивированной лепидолит-сподуменовой смеси с серной кислотой использована методика, приведенная Вольдманом Г.М. и Зеликманом А.Н. [12].

Кинетические исследования направлены на исключение из технологии энергоемкой операции термической активирующей подготовки лепидолит-сподуменовой к сернокислотному извлечению лития в  $Li_2SO_4$ . В частности, выполнены эксперименты по механоактивации лепидолит-сподуменовой смеси, полученной из руд Восточного Казахстана. В опробованной смеси массовое соотношение лепидолит: сподумен, а также содержание оксида лития составляло 10:1 и 4,9% масс соответственно. Механоактивация опробованной лепидолит-сподуменовой смеси проведена в лабораторной планетарной мельнице (рис. 1) АИР-0,015М (разработка института «Гидроцветмет», Новосибирск). При этом получен рентгеноаморфный продукт, крупность которого составляла -45 мкм (механоактивация продолжалась 40 мин, стальные мелющие шары имели диаметр 5 мм, соотношение шары: концентрат – 50:1 (масс.), в мельницу установлено три помольных барабана, центробежительное ускорение по оси барабана - 350 м/с<sup>2</sup>, объемная шаровая загрузка барабанов – 60%).

Навески механоактивированной смеси (по 45 г каждая) перемешивали в воде при Т:Ж = 1:0,8. Для сульфатизации смеси полученную пульпу смешивали с 93%-ной серной кислотой (1,4 мл кислоты на 1 г сырьевой смеси). После сульфатизации полученную реакционную массу выдерживали при перемешивании 5 мин при 95 °C. Выщелачивание реакционной массы проводили водой при Т:Ж= 1:5 (по сырьевой смеси), температуре 95 °C

и продолжительности 50 мин.

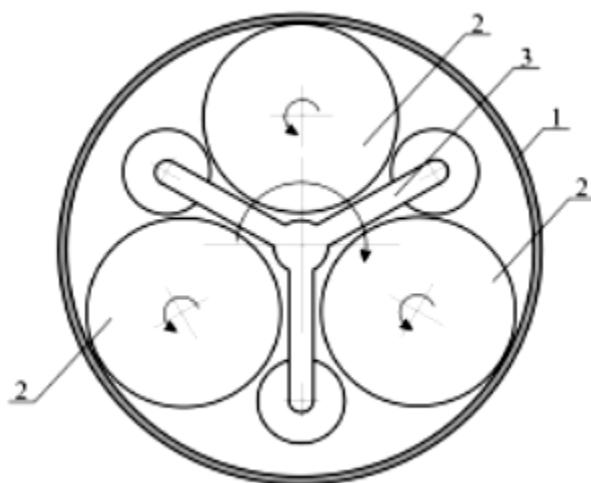


Рисунок 1 - Схема работы планетарной мельницы (вид сверху):  
1 – корпус мельницы; 2 – барабан с шарами; 3 – водило с тремя роликами

Полученную пульпу фильтровали. Кек снимали с фильтра и направляли на двухкратную фильтр-репульпационную отмывку водой, подкисленной серной кислотой до pH 3,5, при Т:Ж= 1:6 (по механоактивированной смеси) и температуре 70 °C в течение 15 мин. По результатам спектрального анализа кека на содержание лития определяли степень его извлечения из механоактивированной смеси минералов в сульфатный раствор со стадии выщелачивания реакционной массы.

Поставленные эксперименты показали (табл. 1), что промышленно-приемлемое извлечение лития из механоактивированной лепидолит-сподуменовой смеси в раствор (98,10÷99,37%) достигается за 50 мин выщелачивания продукта сульфатизации при 105÷115 °C.

Таблица 1  
Зависимость извлечения лития в раствор от температуры выщелачивания  
механоактивированной лепидолит-сподуменовой смеси  
(продолжительность выщелачивания – 50 мин)

Температура, °C	Кек после выщелачивания		Извлечение Li в раствор, %
	масса, г	содержание Li <sub>2</sub> O, % масс.	
115	33,8	0,015	99,37
105	34,5	0,040	98,10
95	36,3	0,080	96,30
85	38,2	0,140	93,40

Дальнейшими исследованиями установлена величина извлечения лития из механоактивированной лепидолит-сподуменовой смеси в сульфат лития при различных продолжительностях ( $\tau$ ) и температурах (T) выщелачивания. Полученные данные указаны в табл. 2 и с использованием табличного процессора Excel графически представлены на рис. 2.

Таблица 2  
Зависимость извлечения лития в раствор от продолжительности и температуры выщелачивания механоактивированной лепидолит-сподуменовой смеси

τ, мин	Кек после выщелачивания		Извлечение Li в раствор, %
	масса, г	содержание $\text{Li}_2\text{O}$ , % масс.	
Температура выщелачивания 115 °C			
20	38,2	0,09	98,39
35	36,0	0,06	98,99
50	33,8	0,04	99,37
Температура выщелачивания 105 °C			
20	38,6	0,15	97,29
35	36,5	0,14	97,57
50	34,5	0,12	98,10
Температура выщелачивания 95 °C			
20	40,1	0,25	95,32
35	38,3	0,23	95,88
50	36,3	0,22	96,50
Температура выщелачивания 85 °C			
20	42,4	0,39	92,27
35	40,0	0,39	92,71
50	38,2	0,37	93,40

По данным графиков определены продолжительности выщелачивания, обеспечивающие одинаковую степень извлечения лития в раствор (30, 60 и 90%) при различных температурах выщелачивания (рис. 2). Установленные значения продолжительностей выщелачивания и результаты их обработки представлены в табл. 3 и далее использованы для оценки кажущейся энергии активации взаимодействия механоактивированной лепидолит-сподуменовой смеси с серной кислотой. Для этого определяли зависимости логарифма времени, необходимого для достижения одинаковой степени извлечения лития в раствор при различных температурах выщелачивания сырьевой смеси, от обратной температуры (рис. 3).

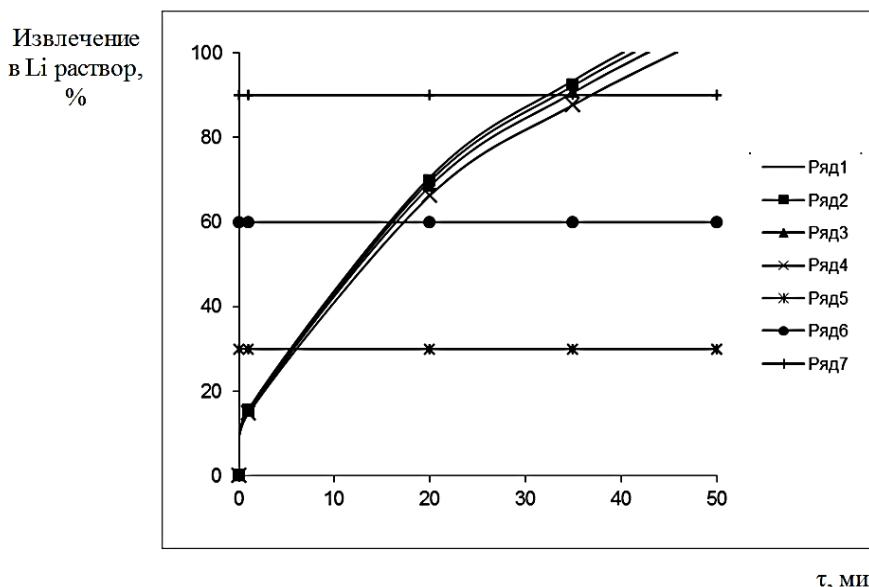


Рисунок 2 – Зависимости извлечения лития из механоактивированной лепидолит-сподуменовой смеси от продолжительности и температуры его выщелачивания. Ряды: 1 – 115 °C, 2 – 105 °C, 3 – 95 °C, 4 – 85 °C, 5, 6 и 7 – вспомогательные прямые, соответствующие извлечению лития в раствор при различных температурах выщелачивания

Таблица 3

*Продолжительность выщелачивания механоактивированной лепидолит-сподуменовой смеси, обеспечивающая заданное извлечение лития в раствор при различных температурах выщелачивания*

<i>T</i>		<i>1/T, K<sup>-1</sup></i>	<i>τ, мин</i>	<i>lg τ</i>
°C	K			
Извлечение в раствор 30%				
115	388	0,002577	3,603328	0,556704
105	378	0,002646	3,698874	0,56807
95	368	0,002717	3,830935	0,583305
85	358	0,002793	4,091887	0,611924
Извлечение в раствор 60%				
115	388	0,002577	14,41331	1,158764
105	378	0,002646	14,7955	1,17013
95	368	0,002717	15,32374	1,185365
85	358	0,002793	16,36755	1,213984
Извлечение в раствор 90%				
115	388	0,002577	32,42995	1,510946
105	378	0,002646	33,28986	1,522312
95	368	0,002717	34,47841	1,537547
85	358	0,002793	36,82699	1,566166

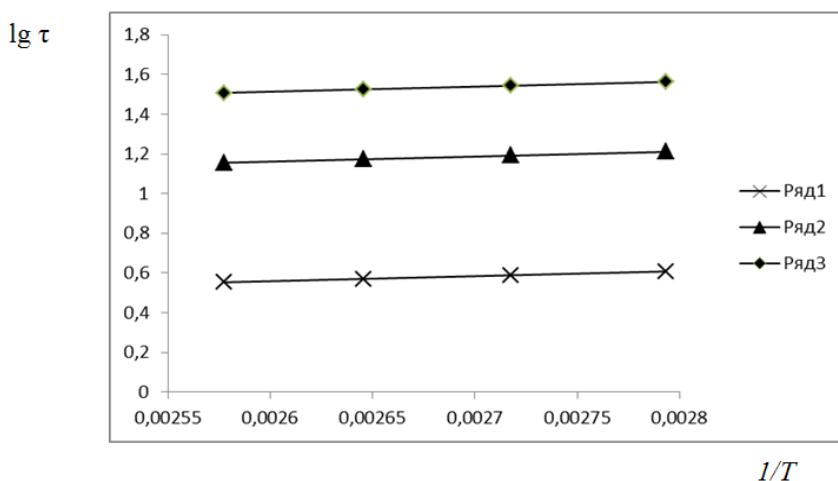


Рисунок 3 – Зависимости логарифма продолжительности выщелачивания от его обратной температуры при извлечении лития 30% (ряд 1), 60% (ряд 2) и 90% (ряд 3)

Угловые коэффициенты прямых  $\lg \tau = f(1/T)$  (см. рис. 3) связаны со значением кажущейся энергии активации соотношением  $d(\lg \tau)/d(1/T) = E_{\text{каж}}/(2,3R)$  [12]. При извлечении лития в раствор на 30, 60 и 90% угловые коэффициенты не изменяются и составляют 252,692.

Величина кажущейся энергии активации взаимодействия сырьевой смеси с серной кислотой, рассчитанная с использованием приведенного выше уравнения, составила 4,8 кДж/моль.

Таким образом, установленное значение кажущейся энергии активации показывает, что, возможно, исследованный процесс протекает в диффузионной области. Исходя из этого, предположительно данный процесс лимитируется скоростью диффузии молекул серной кислоты к реакционной поверхности через слой образующихся продуктов реакции.

#### Список литературы

1. Alexandre Chagnes, Jolanta Swiatowska. Lithium Process Chemistry: Resources, Extraction, Batteries, and Recycling. – Elsevier, 2015. – 312 р.
2. Yuping Wu. Lithium-Ion Batteries: Fundamentals and Applications. – CRC Press, 2015. – 582 р.
3. Кулифеев В.К. Литий / В.К. Кулифеев, В.В. Миклужевский, И.И. Ватулин. – М.: МИСиС, 2006. – 240 с.
4. Самойлов В.И. Экспериментальная разработка перспективных химических методов извлечения бериллия и лития из минерального сырья. – Усть-Каменогорск: Медиа-Альянс, 2006. – 551 с.
5. Самойлов В.И. Исследование современных и разработка перспективных методов извлечения лития из минерального сырья в технические соединения. – Усть-Каменогорск: Медиа-Альянс, 2005. – 276 с.
6. Оналбаева Ж.С. Исследование кинетики сернокислотного извлечения лития из сподумен-лепидолитовой смеси, активированной плавкой с карбонатом натрия / Ж.С. Оналбаева, В.И.Самойлов, Н.А. Куленова и др. // Цветные металлы. – 2014. – №6. – С. 48-51.
7. Остроушко Ю.И. Литий, его химия и технология / Ю.И. Остроушко, П.И. Бучихин, В.В. Алексеева и др. – М.: Атомиздат, 1960. – 200 с.
8. Плющев В.Е. Химия и технология соединений лития, рубидия и цезия / В.Е. Плющев, Б.Д. Степин. – М.: Химия, 1970. – 408 с.
9. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология. В 3-х кн. – Кн. 1: Учеб. для вузов / Под ред. С.С. Коровина. – М.: МИСиС, 1996. – 376 с.
10. Стефанюк С.Л. Металлургия магния и других лёгких металлов. – М.: Металлургия, 1985. – 200 с.

11. Зеликман А.Н. Металлургия редких металлов / А.Н. Зеликман, Б.Г. Коршунов. – М.: Металлургия, 1991. – 432 с.
12. Вольдман Г.М. Теория гидрометаллургических процессов / Г.М. Вольдман, А.Н. Зеликман. – М.: Интермет Инжиниринг, 2003. – 424 с.

Получено 15.12.2016

ӘОЖ 669.537

**Б.С. Саурбаева, Ж.С. Оналбаева, М.Ә. Әділқанова, Г.А. Кокаева, С.А. Абдулина, Д.Е. Жолбарисов**

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен қ.

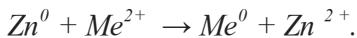
**МЫРЫШ СУЛЬФАТЫНЫҢ ЕРІТІНДІСІН КОБАЛЬТ ЖӘНЕ НИКЕЛЬ ҚОСПАЛАРЫНАН ЦЕМЕНТАЦИЯЛЫҚ ТАЗАЛАУ МЕХАНИЗМІН ЖӘНЕ КИНЕТИКАСЫН ЗЕРТТЕУ**

Мырышты гидрометаллургиялық өндірудің техникалық прогрессі мырыш сульфатының ерітіндісін әртүрлі қоспалардан тазарту әдістерін жетілдірумен тығыз байланысты. Ерітінді тазалығы мырыш өндіру технологиясы мен экономикасы үшін өте маңызды.

Таза ерітінділер пайдаланғанда гидрометаллургиялық қондырылардың өнімділігі артады, пульпаларды тұндыру және сұзу үрдістері жақсарады, тоқ бойынша шығым артады, электролиз кезінде энергия шығыны азаяды, бір сөзben айтқанда, мырыш өндірудің өзіндік құны төмендейді. Сонымен қатар ерітінді тазалығының электролиз цехымен катодтық қырып тазалауды механикаландырудың еңбек жағдайларын жақсартудағы маңыздылығын ерекше атаған жөн.

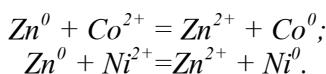
Цементация үрдісі деп аталағын мырыш тозақымен тазалау әдісі ерітіндідегі металды басқа металмен ығыстырып шығаруға негізделген. Ерітіндідегі металды басқа металмен ығыстырып шығару мүмкіндігі олардың электродтық потенциалдар қатарындағы орнына байланысты. Потенциалының мәні ең теріс металл потенциалының мәні өзімен салыстырылғанда оң болатын металды ерітіндіден ығыстырып шығарады. Яғни мырыш өзінен төмен тұрған барлық металдарды ығыстыру керек. Ал кадмий болса, өзінен төмен орналасқан металдарды ығыстырады. Цементацияны практикада қолданғанда электродтық потенциалдардың мәндерінен ( $E^0$ ) бірқатар басқа факторларды да есепке алу қажет. Мысалы, ерітіндідегі иондардың концентрацияларының төмендеуімен осы металдың электродтық потенциалы төмендейді, бұрынғыға қарағанда электрлік теріс жаққа жылжиды. Сондықтан цементацияны бір металдың иондары аз, ал басқа металдар иондары көп күрделі ерітінділерде жүргізгенде, олардың шөгу реті осы металдардың кернеулік қатардағы орындарына сәйкес келмеуі мүмкін.

Жалпы мырыш тозақымен цементациялау үрдісін мына электрохимиялық реакциямен сипаттауға болады:



Бұл реакциядан мырыш электрондарын басқа металдарға беретінін байқаймыз.

Атап айтқанда, ерітіндіні кобальт пен никельден тазартуды мысал ретінде қарастыруға болады.



Тәжірибелік жолмен ерітінділерді мырыш тозаңымен тазалау жолына әсер ететін факторлар анықталды. Олар:

- бастапқы бейтарап ерітінді мен оның құрамындағы қатты бөлшектердің мөлшері;
- мырыш тозаңының жұмсалуы мен оның сапасы;
- ерітіндіде тотықтырғыштардың болуы, әсіресе оттегінің, басқа да қоспалардың болуы;
- мырыш тозаңының активтікіріштік әсері.

Мырыш тозаңымен цементациялау тотықсыздандыру үрдісі болғандықтан, ерітіндіде тотықтырғыштардың болуы тазалау сапасына кері әсерін тигізеді. Тотықтырғыштарға ауадағы оттегі, жоғарғы валентті металл иондары жатады, мысалы темірдің  $Fe^{3+}$  ионы. Олар тұнбаға түсken қоспалардың ерітіндіге өтуіне әсерін тигізеді. Тазалау сапасы жоғары болу үшін мырыш тозаңы мен таза ерітінді арасындағы араласу едәуір болу қажет. Өте көп араластырудың да кері әсері бар, өйткені ұзак араластыру кезінде ерітіндіден бөлінген қоспалар оттегімен тотығып кетеді.

Кобальтті, никельді, басқа да қоспаларды мырыш тозаңымен комплексті цементациялық тазалау әдісін жылдамдату арнайы қоспаларды қолдануды қажет етеді. Біз қоспа ретінде сурьма мен оның әртүрлі тұздарын қолданып көрдік.

Мырыш тозаңымен цементациялау үрдісі кезінде, мырыш тұнған қалдықтармен гальваникалық элемент түзеді, онда мырыш - анод, ал тұнған қалдықтар - катод болады. Гальваникалық элемент жұмысы нәтижесінде мырыш ериді, ал катодтық бөлікте цементтелеңтін қоспалар бөлінеді.

Цементация кезінде металл алғаш рет ерітіндімен жанаңқан кезде, катиондардардың ерітіндіге өту бағыты бастапқыда  $Me^{z+}$  катионының потенциалы  $\mu_{Me^{z+}}$  мен  $Me^0$  металл потенциалына  $\mu_{Me^0}$  байланысты болады, ол сәйкесінше катиондардың гидратациялану жөне кристалл торынан бөлініп шығу энергиясына тәуелді.

Құрамында мырыш бар «Казцинк» ЖШС Риддер металлургиялық комплексінің гидратты кек қалдықтарын өндөуде экологиялық таза, барлық санитарлық-гигиеналық нормаларға сай автоклавты сілтісіздендіру әдісі қолданылды.

«Казцинк» ЖШС Риддер металлургиялық комплексінің гидратты кек құрамында едәуір мөлшерде мырыш, сонымен катар басқа да металдар қоспалары, мысалы мыс, кадмий темір т.б. бар. Кектін химиялық құрамы кестеде көлтірілген.

### Гидратты кектің сандық химиялық құрамы

сынама	Анықталатын элемент пен қосылыстардың массалық үлесі, %								
	Pb	SiO <sub>2</sub>	S <sub>общ</sub>	Cd	Cu	Fe	Zn	As	Sn
кек	3,32	6,16	11,35	0,07	0,57	4,51	21,84	0,14	0,002
сынама	Анықталатын элемент пен қосылыстардың массалық үлесі, %								
	Sb	Te	Se	Ba	Co	Ni	Mo	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
кек	0,37	0,018	0,007	0,20	0,001	0,003	<0,01	3,16	

Технологияны жобалау кезінде мырышты құқірт қышқылымен автоклавты сілтісіздендірудің оптимальды технологиялық жағдайы анықталды (95,4%).

Алынған ерітіндін темірден, кремнийден, мышьяктан, сурьмадан гидролиттік тазалаудық. Аталған қоспаларды тұндыру үшін ерітіндінің pH-ын 4,5 деңгейінде ұстадық. Гидролиттік тазалау кезінде темірдің 99,27% кекке тұнды, темірмен қатар мышьяк

(99,94%) пен сурьма (91,4%) гидролизі жүріп, ерітінді осы металдардан тазартылды. Кремний қышқылының коагуляциясы жүрді (кремнийден тазалау 99,01%). Кекке темірмен қоса 29,52% мыс, 12,46% кадмий өтті.

Гидролиттік тазалаудан соң, ерітіндіні мырыш тозаңымен цементациялап мыс, кадмий, никель, кобальттан тазаладық.

Бірінші сатыда ерітінді мыс пен кадмийден тазартылды.

Есептеулер нәтижесінде кобальттың жылдамдық константасының орташа шамасы - 0,0406 мин<sup>-1</sup> анықталды;

Кобальтты тұндыруды жылдамдату үшін ерітіндіге қосымша мыс сульфатын қосу керек, оптимальды мөлшері 100 мг/л.

Цементация активаторы ретінде қолданылатын мыс тотияйының ертіндісін бірінші сатыда түзілген мысты-кадмийлі кектен алуға болады.

#### Әдебиеттер

1. Набойченко С.С. Автоклавное сернокислотное выщелачивание цинковых концентратов / С.С. Набойченко, К.И. Болатбаев // Цветные металлы, 1987. - С. 23-25.
2. Жунусова Г.Ж. Очистка от примесей меди и кадмия сульфатных растворов цинка от автоклавного выщелачивания цинксодержащих отходов / Г.Ж. Жунусова, О.А. Кальянова, Б.Т. Алтайбаев и др. // Сб. докл. VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Приоритетные научные направления: от теории к практике», 20 дек. 2013. - Новосибирск, 2013. - С. 129-136.
3. Жунусова Г.Ж. Цементация меди, кадмия, кобальта и никеля из цинксодержащих сульфатных растворов от автоклавного выщелачивания цинксодержащих отходов / Г.Ж. Жунусова, О.А. Кальянова, Б.Т. Алтайбаев и др. // Сб. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. «Наука и общество», 25-26 ноябр. 2013. - Лондон, 2013.
4. Снурников А.П. Гидрометаллургия цинка. - М.: Металлургия, 1981. - 384 с.
5. Шиврин Г.Н. Металлургия свинца и цинка. - М.: Металлургия, 1982. - 190 с.
6. Уткин Н.И. Цветная металлургия. Технология отрасли. - М.: Металлургия, 2001. - 450 с.
7. Зайцев В.Я. Металлургия свинца и цинка / В.Я. Зайцев, Е.М. Маргулис. - М.: Металлургия, 1985. - 263 с.
8. Марченко Н.В. Металлургия тяжелых цветных металлов [Электр. рес.]: электрон. учеб. пособие / Н.В. Марченко, Е.П. Вершинина, Э.М. Гильдебрандт. - Электрон. дан. (6 Мб). - Красноярск: ИПК СФУ, 2009.
9. Тихонов В.С. Тяжёлые цветные металлы и сплавы: Справ. - М.: ЦНИИЭИЦМ, 1999. - Т. 1. - 349 с.
10. Снурников А.Г. Комплексное использование сырья в цветной металлургии. - М.: Металлургия, 1998. - 272 с.
11. Кечин В.А. Цинковые сплавы / В.А. Кечин, Е.Я. Люблинский. - М.: Металлургия, 1986. - 247 с.

Получено 15.12.2016

