УДК 550.8: 004.8

Сопубеков Нематилла Абдилахатович[1],
кандидат технических наук, профессор
Сыдыкова Наргул Айдарбековна[2],
преподаватель
Жусуева Толгонай Сатаркуловна[2],
преподаватель

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ГЕОЛОГИИ И РАЗВЕДКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Сопубеков Нематилла Абдилахатович[1],
техника илимдеринин кандидаты, профессор
Сыдыкова Наргул Айдарбековна[2],
окутуучу
Жусуева Толгонай Сатаркуловна[2],
окутуучу

ГЕОЛОГИЯДА ЖАНА ПАЙДАЛУУ КЕНДЕРДИ ЧАЛГЫНДООДО МААЛЫМАТТЫК ИШТЕП ЧЫГУУНУН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫК СИСТЕМАЛАРЫ

Nematilla A. Sopubekov[1],
candidate of technical sciences, professor
Nargul A. Sydykova[2],
lecturer
Tolgonai S. Zhusueva[2],
lecturer

IN GEOLOGY AND MINERAL EXPLORATION, INTELLIGENT METHODS OF INFORMATION PROCESSING SYSTEMS

[1]Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика
[2]Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика

[1]М.М.Адышева атындагы Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы
[2]Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы

[1]Osh Technological University named after M.M.Adyshev, Osh, Kyrgyz Republik
[2]Osh State University Osh, Kyrgyz Republik

Аннотация. Бул макалада геология жана пайдалуу кендерди чалгындоо боюнча актуалдуу маселелерди чечүү үчүн маалыматтарды иштеп чыгуу жана аларды колдонуу үчүн заманбап интеллектуалдык системасын комплекстүү талдоо жүргүзүлөт. Мындай системалардын архитектурасы, анын ичинде машинаны үйрөнүү ыкмалары, нейрон тармактары, чоң маалымат технологиялары жана геомаалыматтык системалар каралат. Өзгөчө көңүл практикалык маселелерди чечүүгө бурулду: геофизикалык маалыматтарды автоматтык түрдө интерпретациялоо, кен байлык объектилерин болжолдуу картага түшүрүү, үч өлчөмдүү

геологиялык моделдерди куруу жана чалгындоо иштерин пландаштыруу үчүн сунуштоочу системаларды түзүү. Муңайгаз жана катуу кендик тармактардын мисалдарын талдоонун негизинде интеллектуалдык системаларды киргизүү болжолдордун тактыгын 20-30% га жогорулатууга, маалыматтарды чечмелөө мөөнөтүн 3-5 эсеге кыскартууга жана чечим кабыл алууда финансылык тобокелдиктерди азайтууга мүмкүндүк берери көрсөтүлгөн.

Ачкыч сөздөр: интеллектуалдык тутумдар, маалыматтарды иштеп чыгуу, геология, пайдалуу кендерди чалгындоо, жасалма интеллект, машинаны окутуу, нейро тармактар, чоң маалыматтар, ГИС, санариптештирүү, болжолдуу карталар.

Аннотация. В статье проводится комплексный анализ современных интеллектуальных систем обработки данных и их применения для решения актуальных задач геологии и разведки полезных ископаемых. Рассматривается архитектура таких систем, включая методы машинного обучения, глубокие нейронные сети, технологии больших данных и геоинформационные системы. Особое внимание уделено решению практических задач: автоматической интерпретации геофизических данных, прогнозному картированию рудных объектов, построению трехмерных геологических моделей и созданию рекомендательных систем для планирования разведочных работ. На основе анализа кейсов из нефтегазовой и твердополезной отраслей показано, что внедрение интеллектуальных систем позволяет повысить точность прогнозов на 20-30%, сократить сроки интерпретации данных в 3-5 раз и снизить финансовые риски при принятии решений.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, обработка данных, геология, разведка полезных ископаемых, искусственный интеллект, машинное обучение, нейросети, большие данные, ГИС, цифровизация, прогнозное картирование.

Annotation. The article provides a comprehensive analysis of modern intelligent data processing systems and their application to solve urgent problems of geology and mineral exploration. The architecture of such systems is considered, including machine learning methods, deep neural networks, big data technologies and geoinformation systems. Special attention is paid to solving practical problems: automatic interpretation of geophysical data, predictive mapping of ore objects, construction of three-dimensional geological models and creation of advisory systems for planning exploration work. Based on the analysis of cases from the oil and gas and solid-state industries, it is shown that the introduction of intelligent systems makes it possible to increase forecast accuracy by 20-30%, reduce data interpretation time by 3-5 times, and reduce financial risks when making decisions.

Keywords: intelligent systems, data processing, geology, mineral exploration, artificial intelligence, machine learning, neural networks, big data, GIS, digitalization, predictive mapping.

Киришүү. Азыркы мезгилдеги заманбап геологиялык чалгындоо тармагы бир топ татаалдык- тардын алдында турат: геологиялык жана геофизикалык маалыматтардын жалпы өсүшүнө карабастан, чалгындоо иштеринин натыйжалуулугу төмөндөп жатат. Бул оңой ачылуучу кендер негизинен мурда эле табылгандыгы менен шартталган, ал эми келечектүү максаттар барган сайын татаал, терең жана диагностикалоо кыйын болуп баратат. Адистештирилген адистердин тажрыйбасына жана маалыматтарды этап-этабы менен иштеп чыгууга негизделген салттуу талдоо ыкмалары заманбап көп параметрлүү маалымат топтомдорунун көлөмүн жана татаалдыгын көтөрө албайт, бул чыгымдардын, мөөнөттөрдүн жана адам катасынын көбөйүшүнө алып келет [1].

Мындай шарттарда интеллектуалдык маалыматтарды иштетүү системалары (IDPS) менен тармактын санариптик трансформациясы бул чакырыктарга стратегиялык жооп болуп жатат. Бул системалар жөн гана алгоритмдердин жыйындысы эмес, маалыматтардан автоматтык түрдө билим алууга, айкын эмес схемаларды аныктоого жана алдын ала чечим чыгарууга жөндөмдүү интеграцияланган аппараттык жана программалык системаларды билдирет [2]. Бул иштин актуалдуулугу геология үчүн AI технологияларынын тез өнүгүп жаткан спектрин системалаштыруу, алардын чыныгы

натыйжалуулугун баалоо жана өнүгүүнүн так перспективаларын түзүү зарылчылыгынан келип чыгат.

Изилдөөнүн максаты. Геологияда жана пайдалуу кендерди чалгындоодо маалыматтарды иштеп чыгуунун интеллектуалдык системаларын колдонуунун мүмкүнчүлүктөрүн, чектөөлөрүн жана келечегин талдоо болуп саналат.

Изилдөө максаттары:

1. Заманбап ИСОД (интеллектуальные системы обработки данных) архитектурасын жана негизги компоненттерин карап чыгуу.

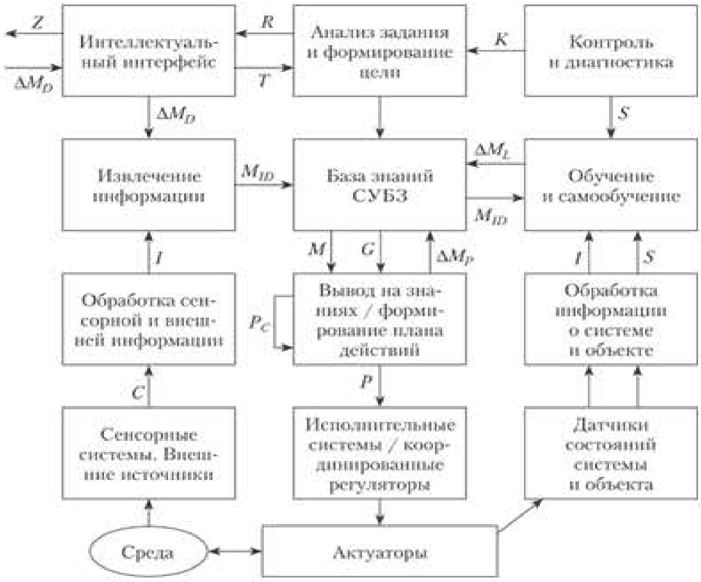
2. Геологиялык маселелерди чечүү үчүн колдонулуучу негизги AI ыкмаларын классификациялоо жана талдоо.

3. Мисал катары конкреттүү учурларды колдонуу менен ISOD практикалык колдонулушун изилдөө.

4. Технологияны өнүктүрүүнүн артыкчылыктарын, чектөөлөрүн жана келечектүү багыттарын аныктоо.

1. Маалыматтарды иштеп чыгуунун интеллектуалдык системасынын архитектурасы

Интеллектуалдык система – чийки маалыматтарды болжолдоочу чечимдерге айландыруу үчүн иштелип чыккан көп катмарлуу архитектура. Анын жалпы түзүлүшү 1-сүрөттө көрсөтүлгөн.



Сүрөт 1. Интеллектуалдык системанын жалпыланган архитектурасы

Мындай системанын негизги иштөө принциби бири-биринен айырмаланган маалыматтарды (геофизикалык, геохимиялык, аралыктан изилдөө жана геологиялык) бирдиктүү репозиторийге (Маалымат көлү) чогултуу жана интеграциялоодон баштап, аягына чейин кайра иштетүү цикли болуп саналат. Кийинки этапта машинаны үйрөнүү жана чоң маалыматтарды талдоо аркылуу жашыруун калыптар жана мамилелер аныкталат. Натыйжалар мейкиндикти талдоо жана визуализациялоо үчүн ГИС чөйрөсүнө интеграцияланган жана система геологдор тарабынан чечим кабыл алуу үчүн сандык болжолдоочу моделдерди жана сунуштарды түзөт [3].

2. Методдордун классификациясы жана геологиялык маселелерде колдонулушу

Геологияда колдонулуучу жасалма интеллект ыкмаларын чечилген маселелердин түрүнө жараша классификациялоого болот (1-таблица).

Таблица 1. Геологиялык маселелерди чечүү үчүн AI ыкмаларынын классификациясы

Тапшырма түрү	AI ыкмалары	Геологиялык маселе	Маалыматтарды киргизүү
Классификация	Чечим дарактары, SVM, k-жакынкы кошуналар (k-NN)	ГИС маалыматтарынын негизинде литологияны классификациялоо, идентификациялоо	журналдар, өзөктүү маалыматтар
Регрессия	Random Forest, Gradient Boosting (XGBoost), Сызыктуу регрессия	Пайдалуу компоненттердин мазмунун болжолдоо (Au, Cu), көзөнөктүүлүгүн баалоо (поритост)	Геохимиялык үлгүлөр, ГИС маалыматтары, сейсмикалык атрибуттар
Кластеризация	k-алгоритмди билдирет (DBSCAN)	Геохимиялык аномалияларды жана гидротермалдык өзгөрүү зоналарын аныктоо	Көп элементтүү геохимиялык маалыматтар, алыстан зонддоо спектралдык маалыматтар
Үлгүлөрдү таануу	нейрон тармактары (CNN, U-Net)	Сейсмикалык сүрөттөрдү автоматтык интерпретациялоо (жарыктарды, рифтерди аныктоо), алыстан зонддоо маалыматтарын декоддоо	Сейсмикалык кубдар, спутниктен алынган сүрөттөр
Оптимизация	Генетикалык алгоритмдер, интеллект	Чалгындоо скважиналарынын тармагын оптималдаштыруу, геологиялык моделдерди калибрлөө	Кен чыккан аймактын 3D модели, экономикалык параметрлери

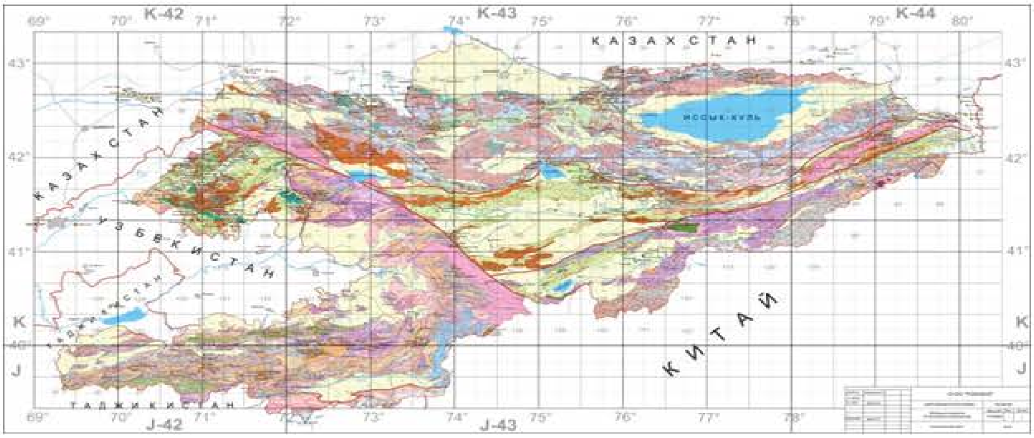
Машина үйрөнүү (ML) классификация жана болжолдоо маселелерин чечүү үчүн негиз түзөт. Мисалы, ансамблге негизделген алгоритмдер (Random Forest, XGBoost) алдын ала карта түзүүдө жогорку эффективдүүлүктү көрсөтүп, геологиялык өзгөчөлүктөрдүн жыйындысынын негизинде берилген чекитте кенди ачуу ыктымалдыгын баалоого мүмкүндүк берет [4].

Терең үйрөнүү жаңы мүмкүнчүлүктөрдү ачты, айрыкча сүрөттү чечмелөө тармагында. Convolutional нейрон тармактары (CNNs) сейсмикалык маалыматтардагы каналдар, рифтер жана резервуар денелери сыяктуу функцияларды автоматтык түрдө аныктоо үчүн ийгиликтүү колдонулуп, кол менен жасалган аракеттерге салыштырмалуу интерпретациялоо процессин кыйла тездетип жана стандартташтырат [5]. Кайталануучу нейрон тармактары (RNNs) убакыт серияларынын маалыматтарын, мисалы, журнал маалыматтарын талдоо үчүн натыйжалуу.

Географиялык маалымат системалары (ГИС) бардык маалыматтар жана AI алгоритминин натыйжалары үчүн мейкиндик маалымдамасын камсыз кылуучу интеграциялык платформа катары иштейт. Заманбап ГИС системалары запастарды эсептөө жана тоо-кен иштерин пландаштыруу үчүн негиз болгон комплекстүү 3D кен моделдерин курууга мүмкүндүк берет.

3. Практикалык колдонуунун мисалдары жана натыйжаларды талдоо

1) Машиналарды окутууну колдонуу менен алтын кендеринин болжолдуу картасын түзүү



Сүрөт 2. Кыргызстандын болжолдонгон алтын потенциалынын картасынын түзүлүшү

Геологиялык базалык диаграмма түстөрдү колдонуу менен алтындын минералдашуу ыктымалдыгын көрсөтөт (жашыл = төмөн, кызыл = жогорку). Тегерекчелер жогорку даражалуу зоналар менен дал келген белгилүү кендерди көрсөтөт. Жебелер модел тарабынан сунушталган жаңы келечектүү аймактарды көрсөтөт.

Мындай моделдер учурда Россияда колдонулууда. Чыгыш Сибирдеги алтын кендеринин бирине кокус токой алгоритмине негизделген модель колдонулган. Модель алтындын белгилүү кендери жана көрүнүштөрү боюнча маалыматтарды колдонуу менен окутулган жана өзгөчөлүк катары көп параметрлик маалыматтар колдонулган: As, Sb жана W геохимиялык түзүмдөрү; магниттик жана гравитациянын маалыматтары; ошондой эле алыстан зондоонун жардамы менен линияны талдоо. Модель белгилүү объектилердин жогорку потенциалын ырастап гана тим болбостон, мурда каралбаган үч жаңы келечектүү багытты да аныктады. Болжолдоочу моделдин эффективдүүлүгү AUC (Ийри сызыктын аянты) метрикасына ылайык 0,85ти түзүп, анын алдын ала айтуунун жогорку күчүн көрсөткөн [7].

2) Терең үйрөнүүнү колдонуу менен сейсмикалык маалыматтарды интерпретациялоону автоматташтыруу

Нефть геологиясында сейсмикалык фацияларды жана объекттерди (каналдарды) автоматтык түрдө аныктоо үчүн U-Net конволюциялык нейрон тармагы колдонулган. Окутуулар белгиленген сейсмикалык участоктор (куб) боюнча өткөрүлдү. Натыйжада, модель жаңы маалыматтардагы максаттуу объектилерди 90%дан ашык тактык менен аныктоо мүмкүнчүлүгүн көрсөтүп, бир кубду чечмелөө убактысын бир нече жумадан бир нече саатка чейин кыскартты [8].

Маалыматтарды иштетүүнүн салттуу жана интеллектуалдык ыкмаларынын салыштырма анализи 2-таблицада берилген.

Таблица 2. Методдордун натыйжалуулугун салыштырып талдоо

Критерий	Салттуу методдор	Интеллектуалдык системалар
Чечмелөө ылдамдыгы	Төмөн (апта/ай)	Жогорку (саат/күн)
Натыйжалардын объективдүүлүгү	Субъективдүү, эксперттен көз каранды	Жогорку, кайталануучу
Big Data менен иштөө	Кыйын	Натыйжалуу, негизи болуп саналат
Ишке ашыруунун наркы	Төмөн (эксперттердин эмгек акысы)	Жогорку (IT инфраструктурасы, персонал)
Прогноздоо күчү	Тажрыйбанын негизинде, көбүнчө жогорку сапаттагы	Сандык, текшерилүүчү

2. Маалыматтарды иштеп чыгууну экспоненциалдуу **4. Артыкчылыктары, чектөөлөрү жана өнүгүү перспективалары**

Артыкчылыктары:

1. Тактык жана объективдүүлүктү жогорулатуу: AI алгоритмдери адамдын субъективдүүлүгүн азайтат жана салттуу талдоо үчүн жеткиликсиз татаал, сызыктуу эмес мамилелерди аныктоого жөндөмдүү тездетүү: Күнүмдүк операцияларды автоматташтыруу (мисалы, сейсмикалык интерпретация) стратегиялык маселелерди чечүү үчүн геологдордун убактысын бошотот.

3. Финансылык тобокелдиктердин азайышы: Перспективдүү аймактарды так болжолдоо бургулоо жана геологиялык чалгындоо иштерине чыгымдарды оптималдаштырууга, ресурстарды эң мүмкүн болгон максаттарга бурууга мүмкүндүк берет.

4. Билим интеграциясы: ИСОД компанияда топтолгон ар кандай маалыматтарды жана тажрыйбаны бириктирүүгө мүмкүндүк берип, "корпоративдик эстутумду" түзөт.

Чектөөлөр (ишке ашыруудагы кыйынчылыктар):

1. Маалыматтын ачарчылыгы: Татаал ML моделдерин эффективдүү окутуу, өзгөчө терең үйрөнүү геологияда көп учурда жетишсиз болгон жогорку сапаттагы энбелгиленген маалыматтардын чоң көлөмүн талап кылат.

2. Так маалымат көйгөйү: Көптөгөн татаал моделдер (мисалы, терең нейрон тармактары) геолог үчүн өз божомолдору үчүн так түшүндүрмө бербейт, бул системага болгон ишенимди азайтат.

3. Жогорку баштапкы инвестициялар: IT инфраструктурасын түзүү, лицензияланган программалык камсыздоону сатып алуу жана квалификациялуу адистерди (маалымат таануучуларды) тартуу олуттуу капиталдык салымдарды талап кылат.

4. Кадр жетишсиздиги: Геология жана маалымат илими боюнча билими бар адистердин жетишсиздиги негизги тоскоолдуктардын бири болуп саналат.

Өнүктүрүүнүн келечектүү багыттары:

1. Талаалардын санариптик көчүрмөлөрү: ар кандай өндүрүш сценарийлерин симуляциялоого жана алардын кесепеттерин баалоого мүмкүндүк берүүчү бардык маалыматтарды жана моделдерди бириктирген объекттердин динамикалык, тынымсыз жаңыланып туруучу виртуалдык көчүрмөлөрүн түзүңүз.

2. Түшүндүрмө жасалма интеллект: геологдордун ишенимин арттырып, белгилүү бир чечимди кабыл алууга түрткөн спецификалык өзгөчөлүктөрдү жана моделдерди визуализациялоого жана түшүндүрүүгө мүмкүндүк берген методдорду иштеп чыгуу [6].

3. Активдүү окутуу жана өз алдынча үйрөнүү системалары: эң белгисиз аймактарда кошумча үйрөнүү үчүн маалыматтарды максаттуу түрдө сурай ала турган алгоритмдерди иштеп чыгуу, мисалы, кийинки чалгындоо скважиналары үчүн жерлерди сунуштоо.

4. Конвергенттик технологиялар: оперативдүү мониторинг жүргүзүү үчүн учкучсуз учуучу аппараттар менен ИСОД интеграциясы, роботтук бургулоо системалары жана реалдуу убакыт режиминде маалыматтарды чогултуу үчүн Интернет (IoT) технологиялары [9].

Корутунду

Изилдөөлөрдүн жыйынтыгы маалыматтарды иштеп чыгуунун интеллектуалдык системалары технологиялык тенденция эмес, геологиялык чалгындоо тармагы үчүн принципиалдуу жаңы курал экенин көрсөттү. Жыйынтык субъективдүү, эксперттик-интуитивдик парадигмадан сандык, маалыматтарга негизделген чечим кабыл алуу парадигмасына өтүүгө мүмкүндүк берет.

Маалыматтарга болгон талаптарга жана ишке ашырууга жогорку чыгымдарга байланыштуу болгон чектөөлөргө карабастан, ИСОД артыкчылыктары — жакшыртылган прогноздун тактыгы, тезирээк иштөө процесстери жана тобокелдиктерди азайтуу — аларды ишке ашырууну стратегиялык жактан керектүү деп эсептейт. Нефть-газ жана катуу пайдалуу кендер өнөр жайындагы ийгиликтүү аткарылып жаткан иштер алардын жогорку натыйжалуулугун көрсөтүп турат.

Өнүктүрүүнүн андан аркы этаптарында технологияларды тереңирээк интеграциялоону, атайын чечимдерден акырына чейин санариптик платформаларга өтүүнү жана үзгүлтүксүз өзүн-өзү үйрөнүүгө жана адаптациялоого жөндөмдүү автономдуу системаларды түзүүнү камтыйт. Бул толугу менен санариптик жана автоматташтырылган геологиялык чалгындоо иштерине жол ачат, бул оңой жетүүгө мүмкүн болгон ресурстардын түгөнүп бараткан шартында минералдык-сырьелук комплексти туруктуу өнүктүрүүнүн негизи жолу болуп саналат.

Адабияттардын тизмеси:

1. Zhou, Y., Esterle, J.S. & Dhnaram, C. Digital Rocks: A Review of Recent Developments in Data-Driven Mineral Exploration. Natural Resources Research 30, 3355–3375 (2021).
2. Иванов А.А. Интеллектуальные системы в геологоразведке: теория и практика. – М.: Наука, 2021. – 356 с.
3. Петров В.В., Сидоров К.К. Применение машинного обучения в анализе геофизических данных // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63. – № 7. – С. 845–860.
4. Смирнов Ю.П., Лавров С.А. Использование нейросетевых моделей в прогнозировании месторождений полезных ископаемых // Вестник МГРИ. – 2020. – № 6. – С. 45–53.
5. Сафронов В.В. ГИС-технологии в геологии и недропользовании. – Екатеринбург: УрО РАН, 2018. – 312 с.
6. Федоров А.А., Кузьмичев П.П. Искусственный интеллект в обработке геофизических данных // Геофизика. – 2021. – № 5. – С. 27–35.
7. Иванов А.А., Петров В.В. Применение методов машинного обучения для прогнозирования локализации золоторудных месторождений (на примере Восточно-Сибирского региона) // Геология рудных месторождений. – 2023. – Т. 65. – № 2. – С. 45-60.
8. Смирнов Ю.П., Лавров С.А. Алгоритмы глубокого обучения для автоматической интерпретации сейсмических данных при поисках углеводородов // Геофизика. – 2022. – № 4. – С. 50-58.
9. Козлов И.И. Стратегия построения цифрового месторождения: от Big Data к интеллектуальной платформе принятия решений // Горный журнал. – 2023. – № 1. – С. 45-51.