

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА.....	3
В.И. Исаев, М.Ф. Галиева, Г.А. Лобова, А.Н. Фомин ОЧАГИ ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ И ИХ АККУМУЛЯЦИЯ В ДОЮРСКОМ РАЗРЕЗЕ ОСТАНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ).....	3
И.Г. Ященко СВОЙСТВА ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ НЕФТЕЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ СИБИРИ.....	13
ГЕОТЕХНОЛОГИЯ И ГЕОМЕХАНИКА.....	28
С.Н. Харламов, М. Джангхорбани МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН ОТ БУРОВОГО ШЛАМА.....	28
В.А. Домаренко, Б.К. Кенесбаев, Е.В. Перегудина, А.Я. Пшеничкин ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ, РАЗМЕЩЕНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЖЕЛЕЗО-РЕДКОЗЕМЛЬНЫХ РУД БАКЧАРСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ).....	38
В.А. Домаренко, Б.К. Кенесбаев, Е.В. Перегудина, А.Я. Пшеничкин К ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ КОМПЛЕКСНЫХ ЖЕЛЕЗО- РЕДКОЗЕМЛЬНЫХ РУД ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ПОЯСА НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ БАКЧАРСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ).....	52
МЕТАЛЛУРГИЯ.....	67
В.В. Солоненко, Е.В. Протопопов, М.В. Темлянецв, Н.Ф. Якушевич, Н.А. Чернышева ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОДУВКЕ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ ПОГРУЖНЫМ ГАЗОКИСЛОРОДНЫМ ФАКЕЛОМ.....	67
Е.А. Пинаев, М.В. Темлянецв, Е.Н. Темлянцева, Н.И. Кувшинникова ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ЧУГУННЫХ СЕКЦИЙ ГАЗОСБОРНЫХ КОЛОКОЛОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ЭКОСОДЕРБЕРГ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	87
Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.Р. Михно, А.А. Усольцев ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ КОНТАКТНОГО ПОДОГРЕВА СТАЛИ Э76ХФ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ.....	95
Н.А. Козырев, Р.А. Шевченко, А.А. Усольцев, А.Р. Михно ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ КОНТАКТНОГО ПОДОГРЕВА СТАЛИ Э76ХФ НА МИКРОСТРУКТУРУ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕЛЬСОВ.....	102
АГРОТЕХНОЛОГИИ.....	110
В.И. Мяленко, А.А. Косолапова ФРАГМЕНТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРУДИЙ ТРУДА ДРЕВНЕГО ЗЕМЛЕДЕЛЬЦА.....	110
О.И. Степанова УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ В АГРЦЕНОЗАХ.....	116

БИОМЕДЕЦИНА И ЭКОЛОГИЯ.....	138
В.В. Агаджанян, И.М. Устьянцева, С.А Кравцов, А.А. Пронских, А.А. Милюков, А.В. Новокшенов, Л.М. Афанасьев	
НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ, ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	138
А.В. Новокшенов, О.А. Якушин	
ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПРИ ТРАВМЕ ПОЗВОНОЧНИКА И СПИННОГО МОЗГА В ОСТРОМ ПЕРИОДЕ.....	146
О.А. Якушин, А.В. Новокшенов	
ОСЛОЖЕНИЯ У БОЛЬНЫХ В ОСТРОМ ПЕРИОДЕ ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМЫ.....	152
ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКИЕ ЗНАНИЯ И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ.....	159
Ю.П. Холюшкин	
ВСЕОБЩАЯ СИСТЕМНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НАУК КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНЫХ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА.....	159
Е.Г. Оршанская	
КРИТЕРИИ И ПРИЗНАКИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ МОДЕЛЬ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО РЕЧЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ.....	168
Е.Г. Оршанская	
РЕАЛИЗАЦИЯ БИЛИНГВАЛЬНОЙ ГИБКОСТИ В ПРОЦЕССЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ НА ЗАНЯТИЯХ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ ВУЗА.....	175
ЮБИЛЕИ.....	183
РЕФЕРАТЫ.....	186

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

УДК 550.823

В.И. Исаев¹, М.Ф. Галиева¹, Г.А. Лобова¹, А.Н. Фомин²

ОЧАГИ ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ И ИХ АККУМУЛЯЦИЯ В ДОЮРСКОМ РАЗРЕЗЕ ОСТАНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

¹*ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

²*ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск*

Введение

Проанализированы условия формирования залежей углеводородов (УВ) путем восстановления термической истории потенциально нефтематеринских пород. Предмет анализа выбран в соответствии с концепцией о геотермическом режиме недр как о ведущем факторе реализации генерационного потенциала материнских отложений. Ключевым исследуемым геодинамическим параметром является глубинный тепловой поток, определяющий реализацию процессов нефтегазообразования [1].

Задача исследований – изучение палеозойских и юрских очагов генерации углеводородов и их роли в формировании доюрских залежей трудноизвлекаемой нефти (ТриЗ).

Характеристика объекта исследований и его параметризация

Выбор территории исследования и конкретно скважины Останинская 438 для выполнения палеотемпературного моделирования обусловлен наличием измеренных геотемператур и притока УВ флюида из доюрского горизонта М в скважину: интервал (2750-2755), безводная нефть, дебит 45 м³/сут.

Параметризация осадочного разреза скважины Останинская 438 принимается в соответствии с литолого-стратиграфической разбивкой (материалы Томского филиала ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по СФО»).

Стратиграфическая разбивка дополнена реконструкцией стратиграфического разреза, не вскрытого скважиной. Реконструкция осадконакопления выполнялась с начала силурийского и до конца триасового периодов. Мощности стратиграфических подразделений учтены в соответствии с данными работы [2].

В разрезе присутствуют два перерыва в осадконакоплении. Первый, непродолжительный по времени, перерыв соответствует первой половине эйфельского века [3]. Второй перерыв начался в среднекаменноугольном отделе. Он занял более продолжительное время (100,2 млн лет) и сопровождался размывом каменноугольных отложений (елизаровской, средневасюганской и кехорегской свит).

В качестве предполагаемых источников УВ для резервуаров коры выветривания и верхней части внутреннего палеозоя рассматриваем потенциально материнские свиты [4, 5]: ларинскую (S_{1lr}), мирную (D_{1mr}), чузикскую (D_{2cz}), чагинскую (D_{3cg}), тюменскую (J_{1-2tm}) и баженовскую (J_3bg).

О методике исследований

Глубинный тепловой поток определяется решением обратной задачи геотермии средствами программного комплекса 1D бассейнового моделирования [6]. В результате получили значение теплового потока из основания осадочного разреза (табл. 1). Основным критерием корректности результатов моделирования выступает полученная оптимальная согласованность («невязка») расчетных геотемператур с «наблюденными» пластовыми температурами и геотемпературами, пересчитанными из определений отражательной способности витринита (ОСВ). В рассматриваемом случае – в пределах ± 2 °С.

Восстановление седиментационной (структурно-тектонической) и термической истории путем решения прямых задач геотермии с известным тепловым потоком выполнялось для всех четырех вышеперечисленных палеозойских потенциально нефтематеринских свит, а также для юрских – баженовской и тюменской свит (табл. 2, рис. 1).

Таблица 1 – Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур в скважине Останинская 438

Приуроченность/ глубина, м	Температура, °С				Рассчитанный тепловой поток, мВт/м ² / динамическая характеристика
	Пластовая	По ОСВ	Модельная (расчётная)	Разница расчётной и измеренной	
J _{3tm} /2704	-	115	115	0	54 /квazистационарный, начиная с юры, до современного
J _{3tm} /2570	94	-	94	0	
J _{3nn} /2512	94	-	92	-2	
K _{1tr} /2119	77	-	79	+2	
D _{3cg} /2844	-	155	155	0	258 /квazистационарный, начиная с силура, до резкого снижения в триасе

Анализ результатов

Ключевым фактором, определяющим реализацию генерационных возможностей формации, являются продолжительность и температурный режим главной фазы нефтеобразования (ГФН), главной зоны нефтеобразования (ГЗН), так называемое «нефтяное окно» – 90 – 130 °С. Значительную роль в формировании залежей УВ играет и главная фаза газообразования (ГФГ), которая характеризуется наибольшей интенсивностью образования УВ газов, преимущественно метана и газоконденсата, более 190 °С – разрушительные для УВ температуры [7].

В формировании нефтегазоносности доюрского фундамента участвуют два резервуара: коры выветривания; внутреннего палеозоя. Резервуар коры выветривания (горизонт М) сформировался в период 213 – 208 млн лет назад и существует до нашего времени (в скважине 438 вскрытая мощность 33 м). Геотемпературы горизонта М не превышали 120 °С. Принимаем концепцию [8], что резервуар верхней части внутреннего палеозоя (мощностью до 400 – 500 м, вскрытая мощность 63 м) генетически обусловлен эпигенетическими процессами в коре выветривания. Этот резервуар (вторичные коллекторы) сформировался не позже 213 – 208 млн лет назад и существует до нашего времени, его геотемпература не превышала 130 °С.

Таблица 2 – Расчетные геотемпературы потенциально материнских свит в разрезе скважины Останинская 438

Время, млн. лет назад	Климатический вековой ход температур, °С	Тепловой поток, мВт/м ²	Геотемпературы свиты, °С											
			Баженовская (J ₃ bg)		Тюменская (J ₁₋₂ tm)		Чагинская (D ₃ cg)		Чузиковская (D ₂ cz)		Мирная (D ₁ mr)		Ларинская (S ₁ lr)	
			Геотемпература	Глубина кровли свиты, м	Геотемпература	Глубина кровли свиты, м	Геотемпература	Глубина кровли свиты, м	Геотемпература	Глубина кровли свиты, м	Геотемпература	Глубина кровли свиты, м	Геотемпература	Глубина кровли свиты, м
0	0	54	97	2427	104	2526	118	2787	134	3267	148	3737	194	5236
1,64	1	54	99	2407	106	2506	120	2767	136	3247	150	3717	196	5216
4,71	3	54	101	2406	108	2505	122	2766	138	3246	152	3716	198	5215
24,0	16	54	112	2381	119	2480	133	2741	149	3221	162	3691	208	5190
32,3	16	54	106	2257	113	2356	127	2617	143	3097	157	3567	203	5066
41,7	12	54	100	2227	107	2326	121	2587	137	3067	151	3537	196	5036
54,8	19	54	105	2157	113	2256	126	2517	142	2997	156	3467	202	4966
61,7	22	54	107	2137	114	2236	128	2497	143	2977	157	3447	203	4946
73,2	16	54	98	2065	105	2164	118	2425	135	2905	149	3375	194	4874
86,5	22	54	100	2005	107	2104	121	2365	137	2845	150	3315	196	4814
89,8	22	54	93	1814	100	1913	114	2174	130	2654	144	3124	190	4623
91,6	22	54	89	1800	96	1899	110	2160	126	2640	140	3110	186	4609
114,1	21	54	56	937	63	1036	77	1297	93	1777	107	2247	153	3746
116,3	18	54	55	936	62	1035	76	1296	91	1776	105	2246	151	3745
120,2	19	54	53	935	61	1034	74	1295	90	1775	104	2245	150	3744
132,4	19	54	30	298	37	397	51	658	67	1138	81	1608	127	3107
136,1	19	54	26	194	34	293	47	554	63	1034	77	1504	123	3003
145,8	19	54	19	0	27	99	40	360	56	840	70	1310	116	2809
151,2	19	54	-	-	26	77	40	338	55	818	69	1288	115	2787
156,6	19	54	-	-	26	76	40	337	55	817	69	1287	115	2786
162,9	19	54	-	-	23	0	37	261	53	741	66	1211	112	2710
208,0	19	139	-	-	-	-	42	33	81	513	115	983	229	2482
213	14	158	-	-	-	-	38	0	84	480	123	950	257	2449
265,1	10	223	-	-	-	-	101	430	163	910	218	1380	403	2879
303,7	20	223	-	-	-	-	138	630	200	1110	255	1580	441	3079
313,2	20	223	-	-	-	-	155	750	216	1230	271	1700	456	3199
318,2	18	223	-	-	-	-	136	630	197	1110	252	1580	437	3079
322,0	18	223	-	-	-	-	131	585	192	1065	248	1535	431	3034
323,0	19	223	-	-	-	-	128	573	191	1053	245	1523	430	3022
324,0	19	223	-	-	-	-	127	561	190	1041	244	1511	429	3010
326,0	19	223	-	-	-	-	126	538	187	1018	242	1488	427	2987
335,1	19	223	-	-	-	-	110	430	171	910	226	1380	411	2879
339,0	16	223	-	-	-	-	97	360	159	840	214	1310	399	2809
343,0	16	223	-	-	-	-	88	287	149	767	205	1237	390	2736
347,0	19	223	-	-	-	-	80	215	142	695	197	1165	381	2664
350,0	19	223	-	-	-	-	74	161	137	641	191	1111	376	2610
3510	20	223	-	-	-	-	72	143	135	623	189	1093	374	2592

Продолжение таблицы 2

Время, млн. лет назад	Климатический вековой ход температур, °С	Тепловой поток, мВт/м ²	Геотемпературы свиты, °С											
			Баженовская (J ₃ bg)		Тюменская (J ₁₋₂ tm)		Чагинская (D ₃ cg)		Чузикская (D ₂ cz)		Мирная (D ₁ mr)		Ларинская (S ₁ lr)	
			Геотемпературы	Глубина кровли свиты, м	Геотемпературы	Глубина кровли свиты, м	Геотемпературы	Глубина кровли свиты, м	Геотемпературы	Глубина кровли свиты, м	Геотемпературы	Глубина кровли свиты, м	Геотемпературы	Глубина кровли свиты, м
353,0	22	223	-	-	-	-	69	107	130	587	186	1057	371	2556
358,9	30	223	-	-	-	-	62	0	125	480	179	950	364	2449
371,0	37	223	-	-	-	-	53	0	98	236	154	706	337	2205
377,0	35	223	-	-	-	-	43	0	81	115	135	585	320	2084
378,0	35	223	-	-	-	-	41	0	77	95	131	565	316	2064
379,0	34	223	-	-	-	-	39	0	74	74	128	545	313	2044
380,0	33	223	-	-	-	-	37	0	70	54	124	524	309	2023
382,7	34	223	-	-	-	-	-	-	65	0	118	470	303	1969
385,0	35	223	-	-	-	-	-	-	57	0	102	331	286	1830
386,0	35	223	-	-	-	-	-	-	51	0	92	271	276	1770
387,0	28	223	-	-	-	-	-	-	45	0	82	211	266	1710
390,5	22	223	-	-	-	-	-	-	-	-	47	0	232	1499
391,9	22	223	-	-	-	-	-	-	-	-	47	0	232	1500
393,3	22	223	-	-	-	-	-	-	-	-	47	0	232	1499
400,0	24	223	-	-	-	-	-	-	-	-	38	0	210	1312
405,0	26	223	-	-	-	-	-	-	-	-	31	0	195	1172
406,0	26	223	-	-	-	-	-	-	-	-	29	0	191	1144
407,0	27	223	-	-	-	-	-	-	-	-	28	0	189	1116
407,6	27	223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	187	1099
413,0	35	223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	164	876
419,2	34	223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	132	619
420,0	34	223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	121	533
421,0	34	223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108	425
422,0	33	223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	94	317
423,0	33	223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	209
427,4	29	223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51	0

Примечание. Светло-синей заливкой показаны температуры главной фазы нефтеобразования (ГФН), желтой заливкой – нижняя (главная) фаза газообразования (НФГ, ГФГ), темно-желтой заливкой – палеотемпературный максимум. Зеленой заливкой обозначено время размыва каменноугольных и перерыва осадконакопления среднедевонских отложений. Светло-фиолетовой заливкой выделены температуры, превышающие температуру начала деструкции УВ. Красной заливкой обозначено время температуры в чагинской свите 313,2 млн лет назад, соответствующей определению ОСВ (155 °С).

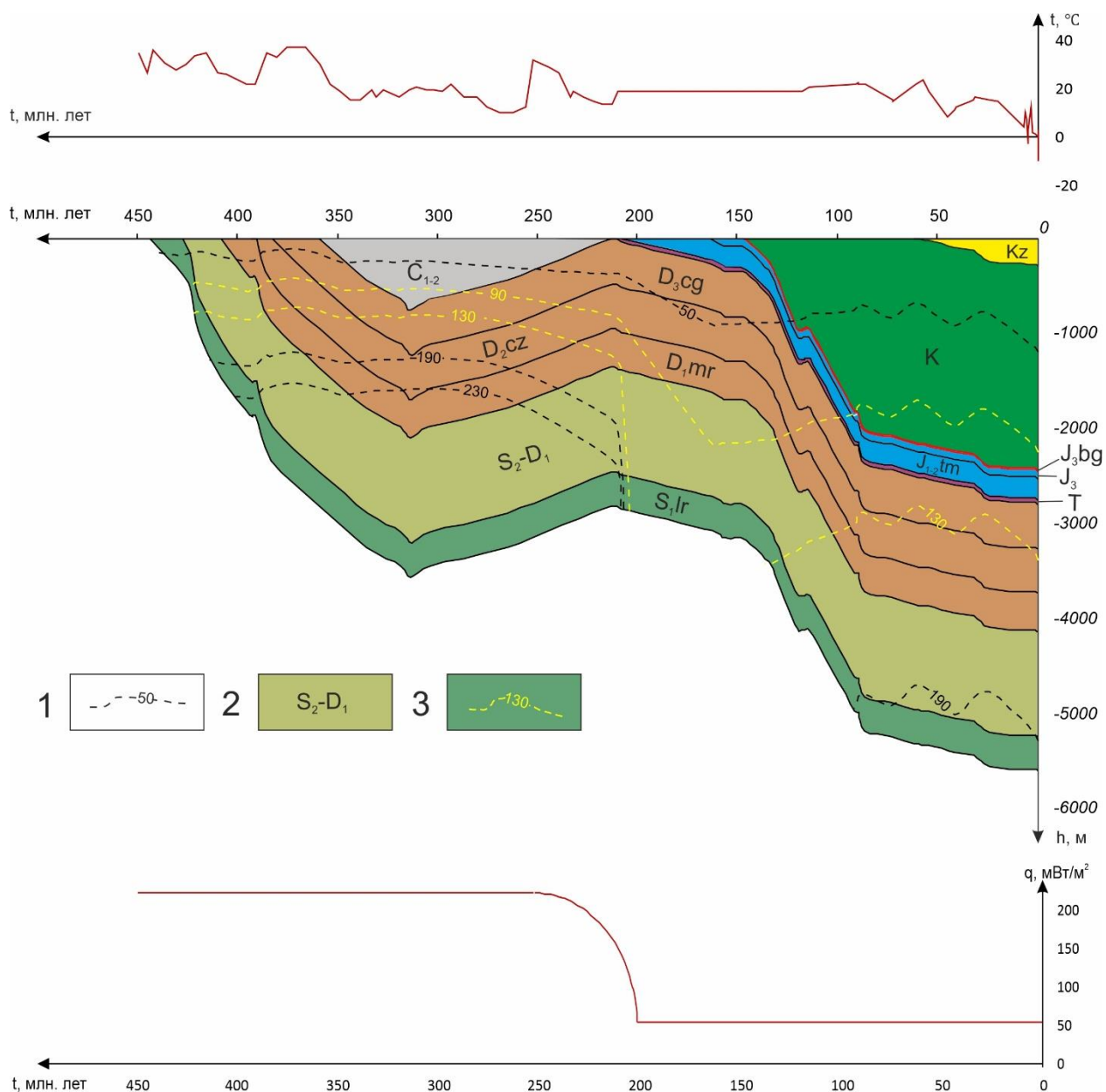


Рисунок 1 – Палеорекострукции тектонической и термической истории в районе скважины Останинская 438:

1 – изотермы; 2 – стратиграфическая приуроченность отложений; 3 – изотермы граничных температур главной фазы нефтеобразования (ГФН). В верхней части рисунка приведен график палеоклиматического векового хода температур на земной поверхности [9, 10], в нижней – изменение расчетной плотности теплового потока во времени

Вместе с тем принимается концепция преимущественно вертикальной межпластовой миграции УВ как вниз [11], так и вверх [12] по разрезу. Анализ периодов «работы» очагов генерации нефти (ГФН), газа и газоконденсата (ГФГ) в каждой из перечисленных выше потенциально материнских свит (табл.

2, рис. 1) позволяет сделать вывод о возможности аккумуляции и сохранности залежей УВ в резервуарах коры выветривания и внутреннего палеозоя.

Ларинская свита (S_{lkr}) находилась в ГФН 3 млн лет (422 – 419,2 млн лет назад), в ГФГ – 13 млн лет (419,2 – 406 млн лет назад). С большой вероятностью нефтяной потенциал ларинского источника исчерпан 419,2 млн лет назад, газовый потенциал – 406 млн лет назад. 406 млн лет назад свита вошла в зону деструктивных для УВ геотемператур, превышающих 190 °С, и находилась в этой зоне дважды: 406 – 162,9 млн лет назад и с 89,8 млн лет назад по настоящее время. Совершенно очевидно, что *ларинские УВ не могли аккумулироваться* в резервуарах коры выветривания и внутреннего палеозоя.

Мирная свита (D_{lkr}) находилась в ГФН 8 млн лет (386 – 378 млн лет назад), в ГФГ – 28 млн лет (378 – 350 млн лет назад). Нефтяной потенциал мирнинского источника с большой вероятностью исчерпан 378 млн лет назад, газовый потенциал – 350 млн лет назад. 350 млн лет назад свита вошла в зону деструкции УВ и находилась в этой зоне до 213 млн лет назад, 37 млн лет. Очевидно, что *мирнинские УВ не аккумулировались* в резервуарах коры выветривания и внутреннего палеозоя.

Чузыкская свита (D_{2cz}) находилась в ГФН 20 млн лет (371 – 351 млн лет назад), в ГФГ – 27 млн лет (351 – 324 млн лет назад). 324 млн лет назад свита вошла в зону деструкции УВ и находилась в этой зоне до 265 млн лет назад, 59 млн лет. Очевидно, что *чузыкские УВ не могли заполнять* резервуары коры выветривания и внутреннего палеозоя, которые сформировались не раньше 213 – 208 млн лет назад.

Чагинская свита (D_{3cg}) находилась в ГФН на протяжении 17 млн лет, уже 339 – 322 млн лет назад, в ГФГ – 57 млн лет (322 – 265,1 млн лет назад). Нефтяной потенциал чагинского источника с большой вероятностью исчерпан 322 млн лет назад, газовый потенциал – 265 млн лет назад. Свита не подвергалась деструктивным для УВ геотемпературам. Учитывая последовательность генерации и миграции жидких УВ и газов, следовало ожидать аккумуляцию в резервуарах коры выветривания чагинского газа и газоконденсата. *Но такой прогноз не подтверждается* испытанием пласта М,

где получен приток безводной нефти.

Тюменская свита (J_{1-2tm}) до сих пор находится в ГФН на протяжении 92 млн лет (91,6 – 0 млн лет назад). Тюменский источник *может заполнять нефтью* резервуары коры выветривания и внутреннего палеозоя в течении последних 92 млн лет. Геотемпературы резервуаров благоприятны для сохранности тюменской нефти.

Баженовская свита (J_3bg) также до сих пор находится в ГФН на протяжении последних 90 млн лет (89,8 – 0 млн лет назад). Все это время баженовский источник *может заполнять нефтью* резервуары коры выветривания и внутреннего палеозоя.

Заключение

Таким образом, сингенетичными (по времени генерации, аккумуляции и сохранности) для резервуаров коры выветривания и палеозоя являются тюменский и баженовский источники. Однако генетические анализы нефтей из резервуаров коры и палеозоя показывают, что эти нефти генерированы сапропелевым ОВ. Поэтому нефти резервуаров коры и палеозоя могут быть, с наибольшей вероятностью, именно баженовскими.

Можно констатировать, что в условиях геолого-геофизического разреза Останинского месторождения источником УВ для резервуаров коры и палеозоя является, скорее всего, юрская «баженовская нефть». Этот итог исследований не согласуется с предпочтенной гипотезой о «девонском источнике» нефтей (породы доманикоидного типа чагинской свиты) [13], а является дополнительным аргументом в пользу гипотезы о юрском «баженовском источнике» палеозойской нефти [14].

Одно из гипотетических допущений о юрском источнике палеозойской нефти, высказанное по результатам генетических (биомаркерных) анализов нефтей [13], подтверждается впервые выполненным в настоящей работе совместным моделированием катагенетических очагов генерации УВ осадочных бассейнов, «современного» юрско-мелового, и силурийского, нижне-среднедевонского, верхнедевонско-нижнекаменноугольного «палеобассейнов» [15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исаев В.И. Палеотемпературное моделирование осадочного разреза и нефтегазообразование // Тихоокеанская геология. – 2004. – Т. 23. – № 5. – С. 101–115.
2. Решения совещания по рассмотрению и принятию региональной стратиграфической схемы палеозойских образований Западно-Сибирской равнины / Под ред. В.И. Краснова. – Новосибирск, 1999. – 80 с.
3. Исаев Г.Д. Региональные стратиграфические подразделения палеозоя Западно-Сибирской плиты (по данным исследования табулятоморфных кораллов) // Вестник ТГУ. – 2012. – № 355. – С. 161–168.
4. Запивалов Н.П., Исаев Г.Д. Критерии оценки нефтегазоносности палеозойских отложений Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. – 2010. – №341. – С. 226–232.
5. Фомин А.Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. – 331 с.
6. Исаев В.И., Искоркина А.А., Лобова Г.А., Старостенко В.И., Тихоцкий С.А., Фомин А.Н. Мезозойско-кайнозойский климат и неотектонические события как факторы реконструкции термической истории нефтематеринской баженовской свиты арктического региона Западной Сибири (на примере п-ва Ямал) // Физика Земли. – 2018. – № 2. – С. 124–144.
7. Бурштейн Л.М., Жидкова Л.В., Конторович А.Э., Меленевский В.Н. Модель катагенеза органического вещества (на примере баженовской свиты) // Геология и геофизика. – 1997. – № 6. – С. 1070–1078.
8. Белозеров В.Б., Гарсия Бальса А.С. Перспективы поиска залежей нефти в отложениях девона юго-восточной части Западно-Сибирской плиты // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 6. – С. 128–139.
9. Исаев В.И., Искоркина А.А., Лобова Г.А., Фомин А.Н. Палеоклиматические факторы реконструкции термической истории

- баженовской и тогурской свит юго-востока Западной Сибири // Геофизический журнал. – 2016. – Т. 38. – № 4. – С. 3–25.
10. Scotese C.R. A New Global Temperature Curve for the Phanerozoic, Paper no. 74-31, GSA Annual Meeting in Denver, CO, September 25, 2016 (abstract & poster), Geological Society of America, Boulder, CO.
11. Исаев В.И., Лобова Г.А., Коржов Ю.В., Кузина М.Я., Кудряшова Л.К., Сунгурова О.Г. Стратегия и основы технологии поисков углеводородов в доюрском основании Западной Сибири. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 112 с.
12. Мельник И.А., Недоливко Н.М., Зимина С.В. Вторичные карбонаты юрских песчаных отложений как показатели продуктивности палеозоя // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 3. – С. 32–38.
13. Ступакова А.В., Соколов А.В., Соболева Е.В., Курасов И.А., Бордюг Е.В., Кирюхина Т.А. Геологическое изучение и нефтегазоносность палеозойских отложений Западной Сибири // Георесурсы. – 2015. – № 2 (61). – С. 63–76.
14. Галиева М.Ф., Крутенко Д.С. Геолого-геофизические аргументы гипотезы «баженовского источника» доюрских залежей нефти Останинской группы месторождений (Томская область) // Актуальные проблемы геологии нефти и газа Сибири: Материалы 2-й Всеросс. науч. конф. молодых ученых и студентов, посв. 85-летию акад. А. Э. Конторовича. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2019. С. 22–25.
15. Ступакова А.В., Пашали А.А., Волянская В.В., Суслова А.А., Завьялова А.П. Палеобассейны – новая концепция моделирования истории геологического развития и нефтегазоносности регионов // Георесурсы. – 2019. – Т. 21. – № 2. – С. 4–12.

*И.Г. Яценко***СВОЙСТВА ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ НЕФТЕЙ
В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ СИБИРИ***ФГБУН Институт химии нефти СО РАН, г. Томск***Введение**

К трудноизвлекаемым запасам относятся запасы нефтей, заключенные в геологически сложнопостроенных или глубокозалегающих пластах либо представленные малоподвижной нефтью. Такие нефти характеризуются сравнительно низкими дебитами скважин, обусловленными низкой продуктивностью пластов, неблагоприятными условиями залегания нефти (газонефтяные залежи, глубина более 4500 м и др.) или аномальными физико-химическими свойствами. В настоящее время понятие трудноизвлекаемых нефтей (ТИН) и их классификация в литературе разработаны недостаточно. Ранее [1 – 3] нами была разработана классификация ТИН и сформирована база данных (БД) трудноизвлекаемых нефтей ИХН СО РАН, включая их физико-химические свойства и условия залегания (табл. 1). В БД более 30000 образцов относятся к различным видам ТИН.

**Особенности свойств трудноизвлекаемых нефтей Арктической зоны
Сибири**

Россия занимает одно из ведущих мест среди арктических стран по запасам углеводородного сырья, доля которых составляет почти 3/4 от мировых арктических запасов [4, 5]. Российская Арктика, являясь регионом особых геополитических, научных и социально-экономических интересов Российской Федерации, представляет важный нефтегазовый резерв государства, требующий серьезного внимания и крупных инвестиций в ближайшие 10 – 20 лет.

Таблица 1 – Объем информации в БД

Трудноизвлекаемые нефти		Объем выборки в 2020 г.
Нефти с аномальными свойствами	Тяжелая (плотность более 0,88 г/см ³)	8032
	Вязкая (вязкость более 35 мм ² /с при 20 °С)	4561
	Сернистая (содержание серы более 3 % мас.)	1176
	Смолистая (содержание смол более 13 % мас.)	2662
	Асфальтеновая (содержание асфальтенов более 10 % мас.)	502
	Высокопарафинистая (содержание парафинов более 6 % мас.)	2814
	С высокой газонасыщенностью (более 500 м ³ /т)	153
	С низкой газонасыщенностью (менее 200 м ³ /т)	5277
	С высоким содержанием сероводорода (более 5 %)	143
	С высоким содержанием ванадия (более 0,003 % мас.)	818
	С высоким содержанием никеля (более 0,007 % мас.)	224
Нефти в сложных условиях залегания	Слабопроницаемые коллекторы (менее 0,05 мдм ²)	2423
	Коллекторы с низкой пористостью (менее 8 %)	416
	Большие глубины залегания (более 4500 м)	469
	В прерывисто-сплошной криолитозоне (Россия)	2467
	В островной криолитозоне (Россия)	3126
	Пластовая температура выше 100 °С	1328
	Пластовая температура ниже 20 °С	529

Анализ размещения арктических трудноизвлекаемых нефтей.

Согласно информации из БД ТИН в Арктической зоне России (АЗР) в границах Баренцево-Карского, Восточно-Арктического, Енисейско-Анабарского, Западно-Сибирского, Лено-Виллюйского, Лено-Тунгусского, Пенжинского, Притихоокеанского, Тимано-Печорского, Усть-Индибирского и Южно-Чукотского нефтегазоносных бассейнов (НГБ) располагаются более 420 месторождений (рис. 1). Больше всего арктических месторождений находится в Западно-Сибирском бассейне – 299: 79 – в Тимано-Печорском НГБ, 27 – в Енисейско-Анабарском бассейне, 7 – в Лено-Тунгусском НГБ и по 4 месторождения в Баренцево-Карском и Притихоокеанском бассейнах. Среди месторождений нефти на территории указанных нефтегазоносных бассейнов особо следует отметить уникальные и крупные по своим запасам месторождения: Пахтусовское в Баренцево-Карском бассейне, Уренгойское, Русское, Северо-Комсомольское, Суторминское, Ванкорское, Самбургское, Новопортовское и др. в Западно-Сибирском бассейне, Наульское, Возейское, Лаявожское, Харьягинское, Ярегское, Медыньское-Море и др. в Тимано-Печорском бассейне, Байкаловское в Енисейско-Анабарском бассейне, Оленекское в Лено-Тунгусском бассейне и т.д.

Нефти АЗР вызывают интерес специалистов как нефтедобывающего, так и нефтеперерабатывающего комплексов. В связи с этим целью работы является изучение особенностей физико-химических свойств и условий залегания трудноизвлекаемых нефтей, располагающихся в Арктической зоне, особенно в сибирской ее части.

В исследованиях применялись методы статистического анализа и классификации данных для исследования особенностей физико-химических характеристик трудноизвлекаемой нефти и методы геоинформационных систем, в частности геоинформационной системы Института химии нефти СО РАН [1, 2], для пространственного анализа данных о свойствах нефтей и условиях их залегания. Ввиду отсутствия в научной литературе данных о свойствах трудноизвлекаемой нефти российской Арктики приведенные здесь новые результаты о свойствах такой нефти определяют научную новизну работы.

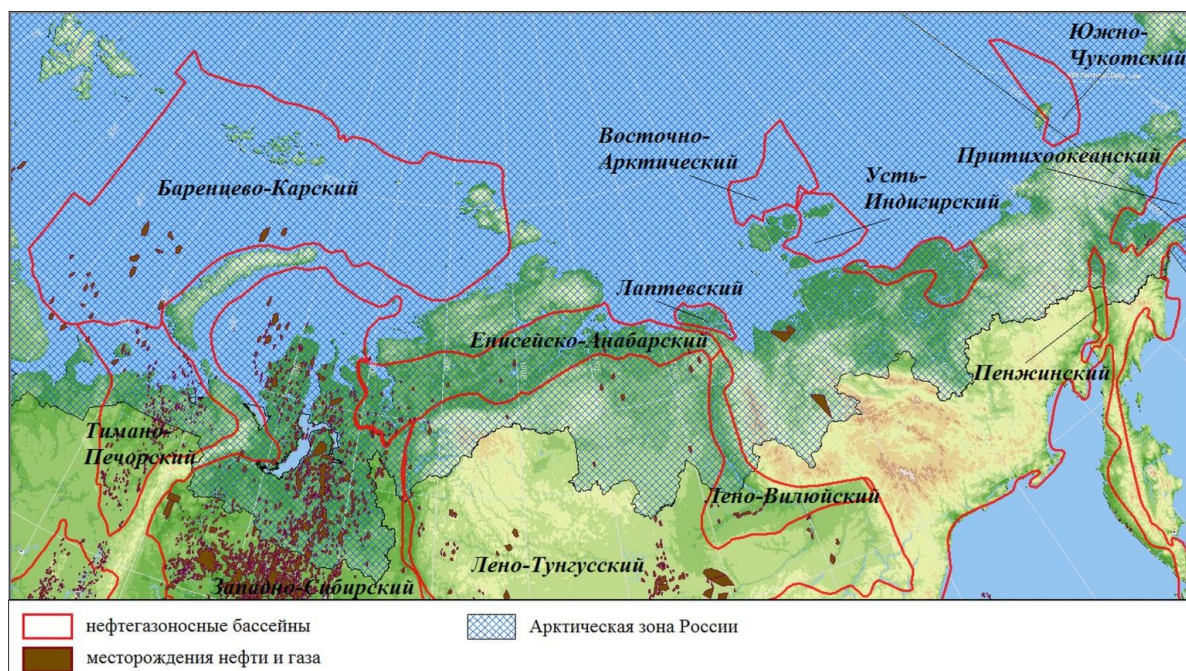


Рисунок 1 – Карта нефтегазоносности в Арктической зоне России

В табл. 2 на основе информации из БД представлена количественная характеристика арктических ТИН. Показано, что больше всего месторождений в АЗР с парафинистыми и тяжелыми нефтями, меньше всего месторождений с высоким содержанием сероводорода и никеля в нефти, такие нефти находятся в Тимано-Печорском бассейне, а также низкопористые коллектора отмечены

только в шести месторождениях. Следует отметить, что в Арктике выявлено небольшое количество месторождений (меньше 10) с высокосернистой, высокоасфальтеновой и обедненной газом нефтью.

Таблица 2 – Распределение месторождений с ТИН в Арктической зоне

Тип нефти	Количество образцов	Количество месторождений в нефтегазоносных бассейнах
Тяжелая (плотность более 0,88 г/см ³)	325	75 месторождений: 5 – Енисейско-Анабарский НГБ, 29 – Западно-Сибирский НГБ, 2 – Лено-Тунгусский НГБ, 39 – Тимано-Печорский НГБ
Вязкая (вязкость более 35 мм ² /с при 20 °С)	117	47 месторождений: 4 – Енисейско-Анабарский НГБ, 10 – Западно-Сибирский НГБ, 1 – Лено-Тунгусский НГБ, 32 – Тимано-Печорский НГБ
Высокосернистая (содержание серы более 3 % мас.)	16	9 месторождений: 1 – Енисейско-Анабарский НГБ (Южно-Тигянское), 1 – Западно-Сибирский НГБ (Самбургское), 1 – Лено-Тунгусский НГБ (Оленекское), 6 – Тимано-Печорский НГБ
Смолистая (содержание смол более 13 % мас.)	43	25 месторождений: 3 – Енисейско-Анабарский НГБ, 4 – Западно-Сибирский НГБ, 1 – Лено-Тунгусский НГБ, 3 – Притихоокеанский НГБ, 14 – Тимано-Печорский НГБ
Высокоасфальтеновая (содержание асфальтенов более 10 % мас.)	13	10 месторождений: 1 – Енисейско-Анабарский НГБ (Южно-Тигянское), 1 – Западно-Сибирский НГБ (Северо-Комсомольское), 1 – Лено-Тунгусский НГБ (Оленекское), 1 – Притихоокеанский НГБ (Изменное), 6 – Тимано-Печорский НГБ
Высокопарафинистая (содержание парафинов более 6 % мас.)	302	82 месторождения: 2 – Енисейско-Анабарский НГБ, 39 – Западно-Сибирский НГБ, 3 – Притихоокеанский НГБ, 38 – Тимано-Печорский НГБ
С высокой газонасыщенностью (газосодержание в нефти более 500 м ³ /т)	15	9 месторождений в Западно-Сибирском НГБ
С низкой газонасыщенностью (менее 200 м ³ /т)	306	52 месторождения: 32 – Западно-Сибирский НГБ, 1 – Притихоокеанский НГБ, 19 – Тимано-Печорский НГБ
С высоким содержанием сероводорода (более 5 %)	2	2 месторождения в Тимано-Печорском НГБ – Поморское и Северо-Гуляевское
С высоким содержанием ванадия (более 0,003 % мас.)	39	18 месторождений: 1 – Лено-Тунгусский НГБ (Оленекское), 17 – Тимано-Печорский НГБ
С высоким содержанием никеля (более 0,007 % мас.)	15	6 месторождений в Тимано-Печорском НГБ
В слабопроницаемых коллекторах (менее 0,05 мдм ²)	47	25 месторождений: 22 – Западно-Сибирский НГБ, 3 – Тимано-Печорский НГБ

Продолжение таблицы 2

Тип нефти	Количество образцов	Количество месторождений в нефтегазоносных бассейнах
В низкопористостью коллекторах (менее 8 %)	6	6 месторождений: 2 – Западно-Сибирский НГБ, 4 – Тимано-Печорский НГБ
С большой глубиной залегания (более 4500 м)	52	25 месторождений: 24 – Западно-Сибирский НГБ, 1 – Тимано-Печорский НГБ
Расположенные в зоне сплошной мерзлоты	2810	117 месторождений: 4 – Баренцево-Карский НГБ, 27 – Енисейско-Анабарский НГБ, 60 – Западно-Сибирский НГБ, 7 – Лено-Тунгусский, 3 – Притихоокеанский НГБ, 16 – Тимано-Печорский НГБ
С высокой пластовой температурой (выше 100 °С)	75	27 месторождений в Западно-Сибирском НГБ
С низкой пластовой температурой (ниже 20 °С)	29	12 месторождений: 4 – Енисейско-Анабарский НГБ, 7 – Западно-Сибирский НГБ, 1 – Тимано-Печорский НГБ

Как известно, географически к Сибири относятся территории Западной, Восточной Сибири и Дальний Восток. Следовательно, сибирский Арктический сектор включает нефтегазоносные территории Енисейско-Анабарского, Западно-Сибирского, Лено-Вилуйского, Лено-Тунгусского, Притихоокеанского бассейнов, а к европейской части Арктического сектора относятся Баренцево-Карский и Тимано-Печорский НГБ. Далее рассмотрим особенности физико-химических свойств нефтей сибирской и европейской частей Арктики.

Анализ особенностей физико-химических свойств трудноизвлекаемых нефтей Арктической зоны Сибири. Особо следует отметить большие запасы тяжелых и вязких нефтей Арктики [7 – 10]. В АЗР находится 75 месторождений с вязкими и тяжелыми нефтями (табл. 2), 36 месторождений находится в сибирской Арктике. Отличаются своими запасами нефти уникальных и крупных месторождений: Русское, Северо-Комсомольское, Новопортовское, Комсомольское, Вынгапуровское, Западно-Мессояхское, Тазовское в Западно-Сибирском бассейне и Оленекское в Лено-Тунгусском бассейне. Основные запасы тяжелой и вязкой нефти сосредоточены в Западно-Сибирском бассейне. Физико-химические свойства тяжелых и вязких нефтей (табл. 3) не имеют значимых отличий, значения показателей вязких нефтей чуть выше аналогичных показателей тяжелых нефтей, за исключением плотности,

содержания серы и ванадия. По нашей классификации [1, 2] данные нефти относятся к классу тяжелых (рассматриваемые тяжелые нефти – к подклассу сверхтяжелых), высоковязких (вязкость от 100 до 500 мм²/с), среднесернистых (содержание серы от 0,5 до 1 % мас.), среднепарафинистых (содержание парафинов 1,5 – 6 % мас.), среднесмолистых (содержание смол 8 – 13 % мас.) и малоасфальтеновых (содержание асфальтенов до 3 % мас.), обеднены никелем. Указанные особенности свойств тяжелых и вязких нефтей могут быть значимыми в процессах нефтепереработки тяжелых нефтей.

Таблица 3 – Физико-химические свойства тяжелых и вязких нефтей сибирской Арктики

Показатель	Значение показателя для нефтей	
	вязких (вязкость при 20 °С более 35 мм ² /с)	тяжелых (плотность более 0,88 г/см ³)
Плотность, г/см ³	0,9174	0,9238
Вязкость при 20 °С, мм ² /с	284,92	210,15
Вязкость при 50 °С, мм ² /с	60,35	59,28
Содержание серы, % мас.	0,50	0,62
Температура застывания, °С	-27,90	-30,35
Содержание парафинов, % мас.	2,79	2,07
Содержание смол, % мас.	9,96	9,84
Содержание асфальтенов, % мас.	1,64	1,61
Газосодержание, м ³ /т	-	-
Коксуемость, % мас.	2,67	3,02
Содержание ванадия, % мас.	0,0009	0,0031
Содержание никеля, % мас.	0,0005	0,0005

Свойства высокосернистых, высокопарафинистых, смолистых и высокоасфальтеновых нефтей представлены в табл. 4. Как было установлено ранее (табл. 2), количество высокосернистых и высокоасфальтеновых нефтей в Арктической зоне Сибири невелико, данные нефти присутствуют в следующих месторождениях: Южно-Тигянское (Енисейско-Анабарский НГБ), Самбургское и Северо-Комсомольское (Западно-Сибирский НГБ), Оленекское (Лено-Тунгусский НГБ) и Изменное (Притихоокеанский НГБ). Наибольшее количество месторождений отмечено с высокопарафинистой нефтью, лидером по количеству таких месторождений выступает Западно-Сибирский бассейн, на территории которого расположено почти 48 % всех арктических месторождений с высокопарафинистой нефтью (табл. 2). К самым сернистым относятся нефти Самбургского (9,2 % мас.) и Оленекского (4,9 % мас.)

месторождений, самыми смолистыми являются нефти Южно-Тигянского (Притихоокеанский НГБ, содержание 35,0 % мас.), Оленекского (32,1 % мас.) и Изменного (24,2 % мас.) месторождений, наиболее асфальтенистыми выявлены нефти Южно-Тигянского (14,5 %) месторождений, наибольшим содержанием парафинов обладают нефти Изменного (28,0 % мас.), Бованенковского (Западно-Сибирский НГБ, содержание 25,7 % мас.) и Верхне-Телекайское (Притихоокеанский НГБ, содержание 23,7 % мас.).

Таблица 4 – Физико-химические свойства высокосернистых, смолистых, высокоасфальтеновых и высокопарафинистых нефтей сибирской Арктики

Показатель	Значение показателя для нефтей			
	высоко-сернистых (более 3 % мас.)	смолистых (более 13 % мас.)	высоко-асфальтеновых (более 10 % мас.)	высоко-парафинистых (более 6 % мас.)
Плотность, г/см ³	0,9570	0,9022	0,9275	0,8429
Вязкость при 20 °С, мм ² /с	237	157,35	237	9,44
Вязкость при 50 °С, мм ² /с	-	55,50	-	6,31
Температура застывания, °С	-	-28,75	-	4,42
Содержание серы, % мас.	4,85	1,07	1,93	0,16
Содержание парафинов, % мас.	-	7,29	3,89	9,48
Содержание смол, % мас.	31,39	20,73	27,46	3,52
Содержание асфальтенов, % мас.	12,87	6,80	16,86	0,48
Газосодержание, м ³ /т	-	-	-	228,17
Коксуемость, % мас.	-	-	-	0,84
Содержание ванадия, % мас.	0,025	0,0004	-	0,00007
Содержание никеля, % мас.	-	0,0005	-	0,00004

Как видно из табл. 4, высокосернистые нефти обладают наихудшими свойствами, а именно, наибольшей плотностью и вязкостью, относятся к классу по этим показателям к свертяжелой и высоковязкой.

В табл. 5 представлены физико-химические свойства нефти с повышенной газонасыщенностью. Данный тип нефти представлен западно-сибирскими нефтями из девяти месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа (Вынгапуровское, Вынгаяхинское, Еты-Пуровское, Марковское, Новогоднее, Северо-Губкинское, Суторминское, Уренгойское и Харампурское). Уникальными по запасам являются Суторминское и Уренгойское месторождения, к крупным относятся остальные перечисленные месторождения. В основном эти нефти залегают в пластах нижнемелового возраста с глубиной залегания от 2309 м (месторождение Суторминское) до

2939 м (месторождение Харампурское). В среднем эти нефти очень легкие, с отрицательной температурой замерзания, маловязкие. По химическим свойствам они являются малосернистыми, малосмолистыми, малоасфальтеновыми, среднепарафинистыми, с высоким содержанием нефтяного газа и с низким содержанием тяжелых металлов и агрессивных компонентов (углекислота и сероводород). К самым высокогазонасыщенным нефтям относятся нефти Вынгапуровского (1670 м³/т) и Вынгаяхинского (1640 м³/т) месторождений.

Таблица 5 – Физико-химические свойства арктических сибирских нефтей с высокой газонасыщенностью

Физико-химические показатели	Среднее значение
Плотность, г/см ³	0,7854
Вязкость при 20 °С, мм ² /с	3,73
Температура застывания, °С	-7,00
Содержание серы, % мас.	0,46
Содержание парафинов, % мас.	5,42
Содержание смол, % мас.	3,56
Содержание асфальтенов, % мас.	0,55
Газосодержание, м ³ /т	892,51
Коксуемость, мас. %	0,42
Содержание ванадия, % мас.	0,0001
Содержание никеля, % мас.	0,00005

Большинство нефтей с низкой газонасыщенностью относится к Западно-Сибирскому НГБ на территории Ямало-Ненецкого АО, количество месторождений с такой нефтью в сибирской части Арктики составило более 61 %, одно месторождение Верхне-Телекайское расположено в Притихоокеанском бассейне. Нефти залегают на глубинах до 1100 м, в большинстве случаев являются мезозойскими, палеозойские залежи встречаются в Уренгойском, Суторминском, Вынгаяхинском, Вынгапуровском, Муравленковском и т.д. В табл. 6 приведены основные свойства рассматриваемых нефтей.

Месторождений с высоким содержанием ванадия, никеля и сероводорода в нефти в сибирской Арктической зоне не установлено, такие месторождения находятся в европейской части Арктики в Тимано-Печорском НГБ.

Как было сказано выше, к ТИН относятся нефти продуктивных объектов с геолого-физическими характеристиками пласта, осложняющими добычу

нефти, а именно, высокие или низкие температуры пласта, низкие значения пористости и проницаемости коллекторов, большая глубина залегания.

Таблица 6 – Физико-химические свойства арктических сибирских нефтей с низкой газонасыщенностью

Физико-химические показатели	Среднее значение
Плотность, г/см ³	0,8467
Вязкость при 20 °С, мм ² /с	6,41
Вязкость при 50 °С, мм ² /с	3,59
Температура застывания, °С	-3,86
Содержание серы, % мас.	0,54
Содержание парафинов, % мас.	3,51
Содержание смол, % мас.	4,97
Содержание асфальтенов, % мас.	1,69
Газосодержание, м ³ /т	81,10
Коксуемость, мас. %	2,44
Содержание ванадия, % мас.	0,0003
Содержание никеля, % мас.	-

Приведем результаты анализа особенностей свойств трудноизвлекаемых нефтей, относящихся к типу нефти с высокой пластовой температурой. Установлено 27 месторождений Западно-Сибирского НГБ на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Эти нефти в основном относятся к юрским отложениям, а три образца из Уренгойского, Евояхинского и Ярайнерского месторождений являются палеозойскими. «Горячие нефти» залегают от средних глубин (начиная с отметки 2770 м, месторождение Вынгайхинское), до больших глубин (более 4500 м). К глубокозалегающим относятся следующие нефти западно-сибирских месторождений с высокой пластовой температурой: Бованенковское, Геологическое, Заполярное, Малыгинское, Медвежье, Семаковское, Штормовое, Уренгойское, Юбилейное и Ямбургское. А нефти Юбилейного месторождения приурочены к самым большим глубинам (5400 – 5480 м). Самые высокотемпературные пласты (до 150 °С) отмечены на месторождениях Евояхинское, Уренгойское, Самбургское, Юбилейное.

Средние значения физико-химических характеристик рассматриваемых ТИН представлены в табл. 7. Видно, что нефти с высокой пластовой температурой («горячие нефти») характеризуются малыми значениями плотности (от 0,7700 до 0,8429 г/см³) и вязкости, имеют отрицательную низкую

температуру застывания. По содержанию серы (0,01 – 0,17 % мас.), смол (2,05 – 7,00 % мас.) и асфальтенов (0,50 – 0,70 % мас.) эти нефти в среднем относятся к малосернистым, малосмолистым и малоасфальтовым нефтям, а по содержанию парафинов – к высокопарафинистым нефтям (пределы изменения содержания парафинов 2,78 – 12,11 % мас.).

Таблица 7 – Физико-химические свойства арктических нефтей с высокой пластовой температурой

Физико-химические показатели	Среднее значение
Плотность, г/см ³	0,8044
Вязкость при 20 °С, мм ² /с	6,69
Температура застывания, °С	-
Содержание серы, % мас.	0,09
Содержание парафинов, % мас.	7,41
Содержание смол, % мас.	4,03
Содержание асфальтенов, % мас.	0,60
Газосодержание, м ³ /т	-
Коксуемость, % мас.	1,95
Содержание ванадия, % мас.	0,0001
Содержание никеля, % мас.	0,00005
Содержание углекислоты, % мас.	0,80

Самым высоким содержанием парафинов (9,76 и 12,11 % мас.) характеризуются нефти Западно-Таркосалинского месторождения, содержание серы, смол и асфальтенов в которых минимально: 0,05, 2,05 и 0,60 % мас. соответственно.

Таблица 8 – Физико-химические свойства арктических нефтей из низкотемпературных пластов

Физико-химические показатели	Среднее значение
Плотность, г/см ³	0,8871
Вязкость при 20 °С, мм ² /с	248,83
Температура застывания, °С	-37,50
Содержание серы, % мас.	0,47
Содержание парафинов, % мас.	1,42
Содержание смол, % мас.	9,66
Содержание асфальтенов, % мас.	0,65
Газосодержание, м ³ /т	-
Коксуемость, мас. %	2,67
Содержание ванадия, % мас.	0,0027
Содержание никеля, % мас.	0,0010
Содержание углекислоты, % мас.	0,35

В низкотемпературных пластах вероятность выпадения асфальтеносмолопарафиновых отложений на глубинно-насосном

оборудовании, стенках скважин и призобойной зоне пласта во много раз увеличивается по сравнению с традиционной нефтью, что приводит к снижению дебита скважин и эффективности работы насосных установок, сокращению межремонтного и межочистного периода работы скважин. С низкой температурой пласта в арктической зоне Сибири выявлено 11 месторождений (всего 12 из табл. 2), из них четыре месторождения из Енисейско-Анабарского бассейна (Джангодское, Мессояхское, Нижнехетское и Нордвигское) и семь западно-сибирских месторождений (Бованенковское, Находкинское, Нейтинское, Русское, Семаковское, Усть-Часельское и Южно-Тамбейское). Самые низкотемпературные пласты находятся в Енисейско-Анабарском НГБ – пластовая температура изменяется от 1 до 12 °С. В табл. 8 представлены физико-химические свойства нефти из низкотемпературных пластов.

Нефти с низкой пластовой температурой характеризуются повышенными значениями плотности (пределы изменения от 0,7800 до 0,9428 г/см³) и вязкости (пределы изменения 72,80 – 424,85 мм²/с), чем отличаются от физических свойств нефтей из высокотемпературных пластов. Нефти имеют отрицательную низкую температуру застывания. По содержанию серы (пределы изменения 0,06 – 1,72 % мас.) и асфальтенов (пределы изменения 0,50 – 0,70 % мас.) эти нефти в среднем относятся к малосернистым и малоасфальтовым нефтям, содержание смол повышенное (пределы изменения 1,31 – 17,07 % мас.), в среднем нефти относятся к классу «среднесмолистая нефть», а по содержанию парафинов – к малопарафинистым нефтям (пределы изменения 0,50 – 4,20 % мас.), в этом тоже есть отличия от свойств «горячей нефти».

Как видно из табл. 2, в АЗР на территории Сибири установлено 24 месторождения в Западной Сибири, продуктивные залежи которых приурочены к глубинам ниже отметки 4500 м. К уникальным по своим запасам относятся месторождения Самбургское и Уренгойское, к крупным – Евояхинское, Комсомольское, Пякяхинское, Ямбургское и Ярудейское. Залежи в основном газоконденсатные или газовые.

Рассмотрим нефти, относящиеся к арктическим месторождениям в зоне сплошной мерзлоты. Как видно из табл. 2, объем информации в БД составляет около 3000 описаний образцов нефти из 117 месторождений шести НГБ: Баренцево-Карского, Енисейско-Анабарского, Западно-Сибирского, Лено-Тунгусского, Притихоокеанского и Тимано-Печорского бассейнов. Заметим, что более половины арктических месторождений относится к Западно-Сибирскому НГБ (51,3 %).

Средние значения физико-химических характеристик рассматриваемого типа ТИН представлены в табл. 9: такие нефти в разных бассейнах имеют значительные различия между собой по физико-химическим свойствам. Так, нефти в Лено-Тунгусском бассейне являются тяжелыми (с плотностью более 0,88 г/см³), к нефти средней плотности относятся енисейско-анабарские нефти, к легким – нефти Западно-Сибирского и Притихоокеанского НГБ. В европейской части Арктики нефти по плотности в среднем относятся к очень легким (Баренцево-Карский НГБ) либо со средней плотности (Тимано-Печорский НГБ). По вязкости нефти Тимано-Печорского бассейна соответствуют сверхвязким нефтям, к высоковязким относятся нефти Енисейско-Анабарского бассейна, с повышенной вязкостью – нефти Западно-Сибирского бассейна, со средней вязкостью – нефти Лено-Тунгусского НГБ, а нефти Баренцево-Карского и Притихоокеанского бассейнов являются маловязкими. Положительной температурой застывания отличаются нефти Притихоокеанского и Тимано-Печорского НГБ. По содержанию серы арктические нефти Баренцево-Карского, Западно-Сибирского и Притихоокеанского бассейнов характеризуются как малосернистые (менее 0,5 % мас.), самое высокое содержание серы установлено в нефти Лено-Тунгусского бассейна (1,45 % мас.). К высокопарафинистым нефтям (содержание более 6 % мас.) относятся нефти Притихоокеанского и Тимано-Печорского НГБ. Содержание смол и асфальтенов самое минимальное в нефти Западно-Сибирского бассейна, а самое максимальное – в нефти Лено-Тунгусского НГБ.

Следовательно, на основе данных табл. 9 можно заключить, что в среднем арктические трудноизвлекаемые нефти Сибири тяжелее европейских арктических нефтей, но наименее вязкие и с меньшим содержанием серы, парафинов и никеля. Сибирские арктические нефти отличаются более высоким содержанием смол, асфальтенов, нефтяного газа, ванадия и повышенной коксуемостью.

Таблица 9 – Физико-химические свойства арктических нефтей сплошной мерзлоты

Физико-химические показатели	Среднее значение					
	Сибирская часть Арктики				Европейская часть Арктики	
	Енисейско-Анабарский	Западно-Сибирский	Лено-Тунгусский	Притихо-океанский	Баренцево-Карский	Тимано-Печорский
Плотность, г/см ³	0,8567	0,8192	0,8847	0,8175	0,7921	0,8760
Вязкость при 20 °С, мм ² /с	101,85	38,06	31,08	2,62	1,40	999,07
Температура застывания, °С	-27,67	-25,76	-58,00	23,60	-54,00	3,58
Содержание серы, % мас.	0,80	0,20	1,45	0,10	0,04	1,29
Содержание парафинов, % мас.	2,36	4,27	0,95	14,08	-	7,33
Содержание смол, % мас.	10,81	4,05	11,58	6,80	-	6,45
Содержание асфальтенов, % мас.	5,20	0,62	5,58	2,38	-	3,02
Газосодержание, м ³ /т	-	161,89	-	67,18	-	105,17
Коксуемость, % мас.	5,36	1,56	-	1,90	-	1,37
Содержание ванадия, % мас.	-	0,00034	0,0277	0,00001	0,00001	0,0051
Содержание никеля, % мас.	-	0,00020	0,0066	0,00002		0,0099
Содержание углекислоты, % мас.	0,63	0,82	-	1,15	0,36	0,74
Содержание сероворода, % мас.	-	0,56	-	-	-	1,97

Следовательно, на основе данных табл. 9 можно заключить, что в среднем арктические трудноизвлекаемые нефти Сибири тяжелее европейских арктических нефтей, но наименее вязкие и с меньшим содержанием серы, парафинов и никеля. Сибирские арктические нефти отличаются более высоким

содержанием смол, асфальтенов, нефтяного газа, ванадия и повышенной коксуемостью.

Заключение

Проведен количественный анализ размещения трудноизвлекаемой нефти на нефтеносных территориях Арктической зоны Сибири. Северные нефтегазоносные территории обладают практически всеми типами трудноизвлекаемой нефти, которые в настоящее время являются основным резервом увеличения нефтедобычи. На территории региона выявлено наибольшее количество месторождений с тяжелой и парафинистой нефтью. Показано, что отличия физико-химических свойств и геолого-физические условия залегания трудноизвлекаемой нефти значимы для европейской и азиатской части Арктической зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яценко И.Г., Полищук Ю.М. Трудноизвлекаемые нефти: физико-химические свойства и закономерности размещения / Под ред. А.А. Новикова. Томск: В-Спектр. 2014. – 154 с.
2. Яценко И.Г., Полищук Ю.М. Классификация трудноизвлекаемых нефтей и анализ их качественных свойств // Химия и технология топлив и масел. – 2016. – № 4 (596). – С. 50–56.
3. Яценко И.Г., Полищук Ю.М. Географические особенности размещения трудноизвлекаемых нефтей на территории России // Вестник Российской академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. – 2018. – № 21. – С. 33–39.
4. Шарф И.В., Борзенкова Д.Н. Трудноизвлекаемые запасы нефти: понятие, классификационные подходы и стимулирование разработки // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-16. – С. 3593–3597. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37827> (дата обращения: 10.09.2020).
5. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / Под. ред. Е.С. Мельникова и С.Е. Гречищева. – М.: ГЕОС, 2002. – 402 с.

6. Филимонова И.В., Эдер Л.В., Мишенин М.В., Дякун А.Я. Восточная Сибирь и Дальний Восток как основа устойчивого развития нефтегазового комплекса России // Вестник ТГУ. Экономика. – 2016. – № 3 (35). – С. 159–172.

7. Yashchenko I.G. Specific Features of the Arctic Hard-to-Recover Oil of Siberia // Chemistry for Sustainable Development. – 2019. – No. 27. – P. 92–100.

8. Yashchenko I.G., Polishchuk Yu.M. Hard-to-recover, high quality oils in the Russian Arctic // Arctic Environmental Research. – 2018. – No. 18(4). – P. 155–161.

9. Туманян Б.П., Романов Г.В., Нургалиев Д.К., Каюкова Г.П., Петрухина Н.Н. Перспективные аспекты преобразования высоковязких нефтей и природных битумов в промысловых условиях // Химия и технология топлив и масел. – 2014. – № 3. – С. 6–8.

10. Петрухина Н.Н., Каюкова Г.П., Романов Г.В., Туманян Б.П., Фосс Л.Е., Косачев И.П., Мусин Р.З., Рамазанова А.И., Вахин А.В. Превращения высоковязкой нефти при каталитическом и некаталитическом акватермолизе // Химия и технология топлив и масел. – 2014. – № 4. – С. 30–37.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН (проект V.46.2.3), финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ И ГЕОМЕХАНИКА

УДК 532.517:536.242:544.012:622.244:519.6

С.Н. Харламов, М. Джангхорбани

МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН ОТ БУРОВОГО ШЛАМА

*ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск*

Введение

В современном бурении использование горизонтальных скважин широко распространено в силу очевидных преимуществ их применения в процессах, осложненных и ограниченных непосредственным доступом к залегающим углеводородам в периферийных областях, далеко расположенных от мест размещения буровых установок на поверхности, как, например, при морском бурении, а также с целью увеличения объема добываемых углеводородов из каждой скважины при весьма больших расстояниях между скважиной и продуктивными породами.

В силу этого, вполне понятно, что в настоящее время большинство пробуренных скважин являются горизонтальными, в которых размеры продольного расположения ствола в несколько раз превышают ее вертикальные участки. Бурение таких горизонтальных скважин сопряжено с рядом технологических проблем, самыми значительными из которых являются: 1) определение местоположения долота относительно локации буровой установки; 2) укрепление скважинных стен; 3) проведение эффективной очистки скважин от бурового шлама. Последнее является одной из приоритетных и сложнейших задач разработки таких скважин, имеет чрезвычайную практическую ценность, так как без эффективной очистки накопление шлама в затрубном пространстве способно очень быстро привести к “заклиниванию” бурильной колонны, полной потере скважины. Также важно следить за тем, чтобы накопление шлама не приводило к уменьшению объема затрубного пространства, важного для введения бурового раствора, и не создавало неблагоприятных условий функционирования скважины в условиях

повышенного давления. Последние процессы способны вести к разрыву пласта, потере бурового раствора и возникновению опасной аварийной ситуации. Учитывая последствия некачественной очистки скважин, бурильные компании часто вынуждены прекращать бурение и проводить трудоемкие операции с раствором по их очистке. Неопределенность в вопросах принятия решений об эффективности очистки сопровождается финансовыми потерями и настоятельно требует исследований: 1) при какой комбинации технологических процессов и поведении таких параметров, как скорость бурения, изменение реологических и механических свойств раствора, скорости насосов и т.д. следует ожидать экстенсификации процесса накопления шламов или их минимизации? 2) при каких условиях развиваются эффекты, определяющие накопление шламов в затрубном пространстве до уровня, требующего остановки буровых операций и организации технологических циклов по промывке оборудования? 3) наконец, как долго и при каких значениях параметров рабочего процесса (например, расхода насосов, скорости вращения буровой колонны и т.п.) гарантированно и эффективно можно провести очистку скважины?

С целью ответа на эти вопросы требуется универсальный инструмент – комплексная физико-математическая модель процесса гидравлической очистки шламов, которая позволила бы по изменению характеристик бурового раствора, операционных параметров (таких, как размер отдельных элементов бурильной колонны, величины расхода насосов, перепада давления и т.д.) корректно прогнозировать концентрацию продуктов выработки в затрубном пространстве, ставить задачи персоналу по управлению процессом эффективной очистки.

Заметим, что отмеченные проблемы создания физической модели очистки имеют свою историю. Они стали достаточно актуальными с 80-х годов XX-го столетия, когда горизонтальное бурение получило широкое распространение. Наибольшее развитие коснулось следующих направлений исследований: 1) экспериментальный анализ; 2) разработка вопросов учета спектра определяющих сил, действующих на отдельные частицы шлам; 3) комплексный подход к математическому моделированию процессов переноса

тепла, массы и импульса в гомогенных и гетерогенных средах с помощью методов вычислительной тепло- и гидродинамики, массообмена.

Указанная актуальность и нетривиальность рассматриваемых проблем приводит к следующей **цели**: – анализ мирового опыта исследований проблем транспорта шлама; – получение оценок достижений в моделировании процессов переноса при сложном движении шламов из горизонтальных скважин; – обсуждение преимуществ/недостатков современных методов прогноза гидродинамических процессов, а также выдача рекомендаций в практику приложений по управлению процессами бурения и очистки горизонтальных скважин.

Подходы, методы моделирования и их определяющие результаты

Детальный библиографический анализ показывает [1 – 16], что начало экспериментальному направлению в середине 80-х годов XX в. положили комплексные исследования, выполненные инженерами-механиками из ряда известных академических, крупных научно-исследовательских и промышленных центров: университета Талсе, США [1]; Хериотт-Ватт, Соединенное Королевство [2]; Института Нефти и газа, Франция [3] и др. Несмотря на то, что данный метод исследования ограничен, однако вполне корректно способен прогнозировать результаты процессов в забое скважины. Метод реально имеет определенные недостатки, главными из которых следует признать следующие.

1) Большинство буровых растворов являются непрозрачными вязкими средами со специфической реологией, составляющих группу неньютоновских сдвиговых жидкостей. В силу этого визуальный контроль за деформационными механизмами в среде, деталями процесса очистки экспериментальными методами весьма проблематичен прежде всего из-за ограничений функционирования элементов экспериментального оборудования, отвечающих за контроль пространственного изменения параметров состава/концентрации шламов в разных сегментах экспериментальной установки, а также в локальных зонах движения частиц. Учитывая эти обстоятельства, в работе [4] выполнено исследование анализа очистки с использованием прозрачных неньютоновских

жидкостей. Однако и в этом случае результаты подтвердили необходимость выяснения сути процессов по контролю изменений вязкости, анализа состояния смесей (их реологических и механических свойств) с применением более качественного и специального гидродинамического оборудования.

2) Следует признать, что большинство рабочих областей экспериментальных установок слишком малы для того, чтобы избежать необходимости учета входных возмущений, накладываемых на поток, нелинейных конвективно-диффузионных эффектов, сопровождающих течение и приводящих к нестабильности искомых концентрационных и гидродинамических параметров. Все это требует выполнения исследований на полномасштабных, достаточно редких и дорогостоящих установках, доступ к которым еще сильно ограничен.

3) Необходимы работы по созданию новых экспериментальных стендов/установок, ориентированных на изучение “тонких” процессов, генерируемых эффектами от *орбитального вращения* внутренней трубы (буровая колонна). Опыт отдельных исследований показывает [5], что большинство установок не отвечает требованиям к соответствующей модификации. Исследования убедительно доказывают, что течение, осложненное указанной закруткой, весьма эффективно для интенсификации процесса очистки, и требуется его детальное изучение. Анализ имеющихся библиографических источников также позволяет судить, что этот ключевой режим еще слабо исследован, именно в силу ограничений функционального характера имеющегося опытного оборудования. Более того, следует ожидать, что в ближайшей перспективе данные вопросы составят предмет для теоретического анализа задачи очистки методами вычислительной тепло- и гидродинамики.

Обращение к методам экспериментального моделирования процессов требует заключений о физической модели явления и вполне разумно выяснение вопросов об определяющих эффектах, силах, механизмах и процессах, формирующих равнодействующую силу очистки. В 90-х годах были проведены исследования по выработке оптимальных решений с точки зрения цели, задачи

и точности изучения вопроса очистки по так называемым полуэмпирическим, механистическим моделям. Они составили группу из *двухслойных и трехслойных* моделей в зависимости от степени детализации объекта исследования. Так, первая группа моделей допускает, что в затрубном пространстве существует две специфические области: зона неподвижных шламов (внизу, относительно плоскости поперечного сечения горизонтального участка скважины) и зона свободно перемещающейся жидкости (сверху, относительно нижнего слоя в аналогичной плоскости поперечного сечения скважины), которая способна захватывать частицы нижнего слоя и транспортировать их по течению [6]. Трехслойные модели основаны на предположении, что при увеличении скорости течения может образовываться новый слой между двумя областями, в котором частицы преимущественно находятся во взвешенном состоянии [7]. Заметим, что указанные модели до сих пор используются в оценке технологических процессов очистки в промышленности. Например, именно такая модель используется в программном обеспечении “Landmark”, которое является самым популярным ПО при решении проблем разработки скважин. Однако указанные модели не рассчитаны на моделирование процессов транспорта шламов при вращении трубы и дают удовлетворительные результаты только при бурении с забойными двигателями, поскольку при таком виде бурения вращается только долото, а также в условиях очистки, определенных ситуациями, когда вращается вся буровая колонна с целью интенсификации выноса шлама из скважины.

Таким образом, использование подхода, основанного на применении пакетов и методов вычислительной тепло- и гидродинамики, является достаточно популярным и продуктивным, начиная с 2000-х годов, в том числе с момента, когда персональные компьютеры достигли достаточной мощности [8]. Этот подход признан весьма перспективным, хотя и содержит ряд сложностей при решении практических задач. Важными являются процессы, характеризующиеся следующими допущениями и положениями физического порядка:

1) *Определение режима течения.* Как отмечалось выше, большинство буровых растворов являются неньютоновскими жидкостями и, к сожалению, определение их режима течения подчинено включению обоснованных реологических связей в балансовые уравнения законов сохранения импульса (см., например, [9, 10]), которые не всегда известны.

2) *Формулировка приемлемой модели турбулентности.* Отметим что, хотя исследование [11] и указывает на то, что режим турбулентности не способен сильно влиять на среднemasсовые параметры, определяющие падение давления, изменения поля значений концентрации шлама в затрубном пространстве, необоснованный выбор модели турбулентности при анализе процессов в широком диапазоне изменений рабочих параметров могут вести к значительным ошибкам в расчетах процессов по всему пространству скважины. С другой стороны, моделирование турбулентности, опираясь на детали изменений гидродинамических величин состава гетерогенной смеси, и обращение к моделям, учитывающим эффекты течений частиц смеси разного сорта и фазы, в рамках комплексного лагранжево-эйлерова метода способно не потерять требуемую точность при прогнозах моделирования частиц твердой фазы, деталей процесса очистки при сложном сдвиговом закрученном течении смеси.

3) *Учет размера и формы взаимодействующих частиц.* Отметим, что с целью упрощения задачи многие исследователи рассматривают твердую фазу как совокупность сферических, одноразмерных частиц. Это упрощение не всегда корректно, так как на практике буровые шламы могут включать частицы смеси с произвольной формой и размерами. Хорошо известно, что геометрическая конфигурация частиц очень сильно влияет на процесс их транспортирования [12]. Отдельные современные исследования утверждают [13], что учет этого фактора весьма значителен в комплексном анализе процессов (в частности, при моделировании движения частицы следует учитывать ее сферическую или плоскую геометрию).

4) *Вращение внутренней трубы.* Хотя известно, что орбитальное вращение внутренней трубы сильно влияет на процесс транспортирования

шламов, только недавно исследователи стали анализировать этот режим по имеющимся гидродинамическим моделям. Такие исследования еще только начинаются и их результаты еще ждут своего окончательного заключения для практики приложений [14].

5) *Технологические соединения.* При моделировании необходимо учитывать, что каждая часть буровой колонны соединяется к другим узлом с помощью элементов-соединителей, которые толще трубы и способны оказывать влияние на результаты течения вязких систем. Заметим, что в большинстве исследований (с целью упрощения задачи) этими положениями пренебрегают. Однако последнее требует серьезных оговорок, поскольку может приводить к значительным ошибкам в определении локальных гидродинамических параметров процессов [15].

6) *Эйлеров и Лагранжев подходы математического моделирования.* Предполагается, что твердую фазу в смеси можно моделировать как жидкую с помощью эйлерова подхода, который позволяет вычислять концентрацию фаз в каждом узле вычислительной сетки и не учитывает движение и местоположение каждой частицы. Этот подход отличается простотой в сравнении с лагранжевым описанием, требующим определения положения каждой частицы друг относительно друга. Моделирование процессов в рамках совместного эйлерова-лагранжева метода в больших областях затрубного пространства при протяженных временных процессах представляется весьма трудоемким и требует значительной оперативной памяти ПК [16]. В настоящее время по причине своей экономичности эйлеров подход признан наиболее популярным среди исследователей. Однако при определенных рабочих условиях разница в точности расчета локальных параметров процесса очистки между этими подходами может быть существенной и применение, обоснование положений обращения к соответствующему методу составляет предмет серьезных исследований и выводов.

Отдельные результаты, представленные на рис. 1 – 3, подтверждают суть преимуществ комплексного метода в прогнозе “тонких” эффектов, сопровождающих очистку в условиях наложенного на прямоочное течение

капельной углеводородной смеси закрутки от вращающейся внутренней стенки (см. например, рис. 3, возникновение рециркуляционных зон в пристеночных областях движения, способствующих уносу шлама со стенок вследствие интенсификации конвективно-диффузионных механизмов процессов переноса; рис. 1, 2 – точность расчета развития полей осевой и азимутальной компонент вектора скорости при пространственных процессах течения в канале в сравнении с опытом работы [17]).

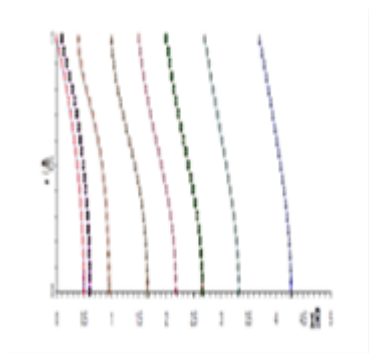


Рисунок 1 – Развитие профиля осевой компоненты вектора скорости U/U_0 по длине канала в сравнении с экспериментами данными З. Лавана [17] ($Re = 20, Ro = 5$)

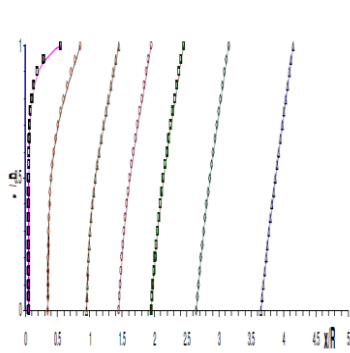


Рисунок 2 – Развитие профиля тангенциальной компоненты вектора скорости W/U_0 по длине канала в условиях, отвечающих рис. 1

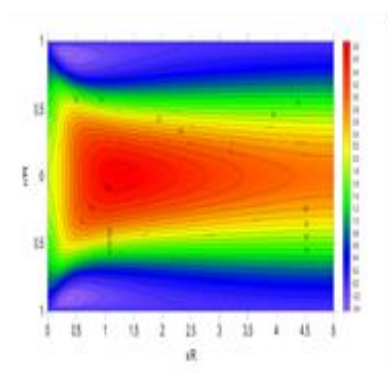


Рисунок 3 – Изолинии и поле осевой компоненты вектора скорости в канале при интенсивной закрутке ($Re = 20, Ro = 10$)

Заключение

Проведенное исследование поиска решений проблем интенсификации процессов очистки позволяет утверждать следующее: среди выделенных (трех) подходов моделирования процесса транспортирования шламов из горизонтальных участков скважин практически ценным и актуальным выступает метод моделирования с привлечением аппарата вычислительной тепло- и гидродинамики, массопереноса. Хотя этот метод и опирается на экспериментальные данные, привлекаемые с целью валидации модели и верификации полученных результатов, формулировку сил, определяющих поведение частиц смеси, внутри- и межфазного взаимодействия при переносе импульса, тепла и массы индивидуальных компонент/фаз смеси, отмеченный подход следует признать универсальным при прогнозе явлений,

обеспечивающих эффективную очистку скважины от шлама в достаточно широких условиях эксплуатации технологического оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tomren P.H., Iyoho A.W., Azar J.J. Experimental study of cuttings transport in directional wells // SPE Drilling Engineering. – 1986. – Vol. 1. – No. 1. – P. 43–56.
2. Luo Yuejin. Non-Newtonian annular flow and cuttings transport through drilling annuli at various angles. PhD diss. – Heriot-Watt University, 1988. – 165 p.
3. Martin M., Georges C., Bisson P., Konirsch O. Transport of cuttings in directional wells // SPE/IADC drilling conference. Society of Petroleum Engineers. – 1987. P. 1–17.
4. Kelessidis Vassilios C., Vasiliki Hatzistamou. Preparation methodology and rheological properties of yield pseudoplastic transparent fluids // Journal of dispersion science and technology. – 2011. – Vol. 32. – No. 3. – P. 380–388.
5. Sanchez R., Alfredo D., Azar J.J., Bassal A.A., Martins A.L. The effect of drillpipe rotation on hole cleaning during directional well drilling // SPE/IADC drilling conference. Society of Petroleum Engineers. – 1997. – P. 34–42.
6. Gavignet Alain A., Sobey Ian J. Model aids cuttings transport prediction. Journal of Petroleum Technology. – 1989. – Vol. 41. – No. 9. – P. 916–921.
7. Nguyen Desmond, Rahman S.S. A three-layer hydraulic program for effective cuttings transport and hole cleaning in highly deviated and horizontal wells // SPE/IADC Asia Pacific Drilling Technology. Society of Petroleum Engineers. – 1996. – P. 57–69.
8. Bilgesu H.I., Ali M.W., Aminian K., Ameri S. Computational Fluid Dynamics (CFD) as a tool to study cutting transport in wellbores // SPE Eastern Regional Meeting. Society of Petroleum Engineers. – 2002. – P. 26–37.
9. Bailey W.J., Peden J.M. A generalized and consistent pressure drop and flow regime transition model for drilling hydraulics// SPE Drilling & Completion. – 2000. – Vol. 15. – No. 1. – P. 44–56.

10. Scheid C.M., Calçada L.A., Braga E.R., Paraiso E.C.H., Martins A.L. Hydraulic study of drilling fluid flow in circular and annular tubes // Brazilian Journal of Petroleum and Gas. – 2011. – Vol. 5. – No. 4. – P. 21–34.
11. Demiralp Y. Effects Of Drill-pipe Whirling Motion on Cuttings Transport Performance for Horizontal Drilling. Master dissertation. – Louisiana State University, USA, 2014. – 132 p.
12. Chien Sze-Foo. Settling velocity of irregularly shaped particles // SPE Drilling & Completion. – 1994. – Vol. 9. – No. 4. – P. 281–289.
13. Epelle Emmanuel I., Gerogiorgis Dimitrios I. CFD modelling and simulation of drill cuttings transport efficiency in annular bends: effect of particle sphericity // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2018. – Vol. 170. – P. 992–1004.
14. Pang Boxue, Shuyan Wang, Xiaoxue Jiang, Huilin Lu. Effect of orbital motion of drill pipe on the transport of non-Newtonian fluid-cuttings mixture in horizontal drilling annulus // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2019. – Vol. 174. – P. 201–215.
15. Zhu Xiao-hua, Chao S.U.N., Hua T.O.N.G. Distribution features, transport mechanism and destruction of cuttings bed in horizontal well // Journal of Hydrodynamics. – 2013. – Ser. B. – Vol. 25. – No. 4. – P. 628–638.
16. Akhshik Siamak, Majid Rajabi. CFD-DEM modeling of cuttings transport in underbalanced drilling considering aerated mud effects and downhole conditions // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2018. – Vol. 160. – P. 229–246.
17. Lavan Z., Nielsen H., Fejer A.A. Separation and Flow Reversal in Swirling Flows in Circular ducts // The physics of fluids. – 1969. – Vol. 12. – No. 2. – P. 1747–1757.

В.А. Домаренко¹, Б.К. Кенесбаев², Е.В. Перегудина², А.Я. Пшеничкин²

**ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ,
РАЗМЕЩЕНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ
ЖЕЛЕЗО-РЕДКОЗЕМЛЬНЫХ РУД БАКЧАРСКОГО
РУДНОГО УЗЛА (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

¹ *МПРиООС, г. Томск,*

² *ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск*

Введение

Железоносные отложения Западно-Сибирского пояса, составной частью которого является Бакчарский рудный узел, приурочены к верхней части мощного разреза мезо-кайнозойского осадочного чехла в восточной части Западно-Сибирской эпигерцинской плиты, в строении фундамента которой принимают участия породы разновозрастные образования от докембрия до перми [12].

Морские рудоносные осадки Западно-Сибирского пояса протягиваются в субмеридиональном направлении в пределах Томской, Омской и Новосибирской областей, Алтайского и Красноярских краёв от предгорий Алтая на юге (рис. 1), через бассейны рек Бакчар, Парабель, Васюган, Парбиг, Обь, Тым, Вах, Елогуй, Турухан в бассейне Большой и Малой Хеты. Северные выходы железоносных пород известны на полуострове Оленьем, в низовьях р. Енисея. Протяженность рудоносной полосы около 2000 км, при ширине почти 150 км. Общая площадь бассейна составляет почти 300000 км², в том числе на территории Томской области около 80000 км². Общий металлогенический потенциал руд пояса от 400 млрд т до 1 трлн т. Это самая крупнейшая железорудная провинция мира (Западно-Сибирский..., 1964) [1 – 18].

Юго-восточная часть Западно-Сибирской низменности имеет двухярусное строение: складчатый фундамент палеозойского возраста и перекрывающий его сверху чехол осадочных мезозойско-кайнозойских отложений (Западно-Сибирский..., 1964; Бабин, 1969). Осадочные оолитовые

железные руды локализованы в верхней части разреза в породах мезозойско-кайнозойского возраста. В томской части бассейна выделяется пять рудных узлов – Бакчарский, Колпашевский, Парабельский, Чузиковский и Парбигский.

Руды Бакчарского узла приурочены к верхнемеловым и палеогеновым отложениям, перекрытым довольно мощной толщей (160 – 200 м) неоген-четвертичного возраста. Оолитовые железные руды в нём связаны с тремя основными горизонтами: нарымским, колпашевским, бакчарским. В северных районах картируется четвертый тымский (чигоринский) горизонт, но он приурочен к более верхним стратиграфическим уровням (нижний олигоцен) и находится далеко за пределом изученного района [11, 12].

Основные работы по изучению геологии и условий формирования железных руд Бакчарского месторождения выполнены М.П. Нагорским (1971), А.А. Бабиным (1964), Н.Х. Белоус (1952), И.В. Николаевой (1967), Ю.П. Казанским (1959, 1963), С.Б. Шацким (1957), Е.А. Горюхиным (1994, 2000), А.В. Гольбертом (1963), О.М. Гриневым (2010) и др. В.М. Подобной с сотрудниками НИЛ Микропалеонтологии ТГУ (2005) проведена детализация стратиграфии, корреляция морских и континентальных отложений, палеогеографические реконструкции в позднемеловой-среднепалеогеновый этапы развития юго-востока ЗС, а также ими выяснены палеогеографические обстановки формирования железорудных горизонтов [12].

Результаты исследований

Строение основных рудоносных горизонтов

Бакчарская рудоносная толща по времени формирования занимает промежуток от турона до эоцена и с несогласием залегает на морских песчано-глинистых отложениях кузнецовской свиты (сеноман-турон). Продуктивные отложения сложены прибрежно-морскими и морскими осадками, содержащими горизонты оолитовых железных руд: песчаниками кварц-хлорито-сидеритового, кварц-хлорито-глинистого состава, алевролитами, глинами, песками, гравелитами (рис. 2) и приурочены к трем стратиграфическим уровням – песчаным толщам позднемелового, палеоценового и эоценового

возраста: нарымскому (сантон), колпашевскому (маастрихт) и бакчарскому (палеоцен-эоцен) горизонтам.

Нарымский железорудный горизонт располагается в верхней части ипатовской свиты. Он прослеживается от устья р. Енисея на севере до Павлодарского Прииртышья на юге. Протяжённость горизонта составляет более 2000 км, ширина в Каргасок-Колпашевском Приобье составляет около 260 км, мощность до 30 – 35 м. Наименьшая глубина залегания от поверхности составляет 180 м (верховья р. Парбига), а в некоторых местах до 300 – 400 м. Формирование нарымского железорудного горизонта связано с начавшейся в коньякское и продолжающейся в сантонское время трансгрессией славгородского моря. В условиях мелководного шельфа накапливался грубый терригенный, а затем более тонкий, частично сортированный и обломочно-хемогенный материал железорудного горизонта с преобладанием бурых и зелёных хлоритов и постоянным присутствием глауконита.

В пределах Бакчарского рудного узла нарымский железозоносный горизонт залегает на глубинах 220 – 235 м и представлен слоем глауконитовых песчаников и алевролитов с маломощными линзами гидроксидов железа и лептохлоритов. Основной продуктивной составляющей руд горизонта являются оолиты гидрогётито-лептохлоритового состава (65 – 70 %), терригенный материал (20 – 25 %) представлен хорошо окатанными зёрнами кварца, полевых шпатов и окисленного глауконита. Максимальные концентрации оолитовых руд тяготеют к кровле горизонта, где образуют выдержанный слой слабосцементированных оолитовых пород, подсечённых подавляющим большинством разведочных скважин. Его мощность варьирует от 0,5 до 4,5 м, с максимальным увеличением в осевой зоне север-северо-западного простирания и постепенным выклиниванием в восточном направлении (рис. 3). Содержание железа в пределах продуктивного горизонта изменяется от 18 до 31 % при средней концентрации 22,8 %. Характер неоднородности в распределении железа в целом идентичен изменениям мощности продуктивного пласта, но осложняется дополнительным локальным максимумом на западном фланге, что позволяет предполагать наличие латеральной зональности накопления металла.

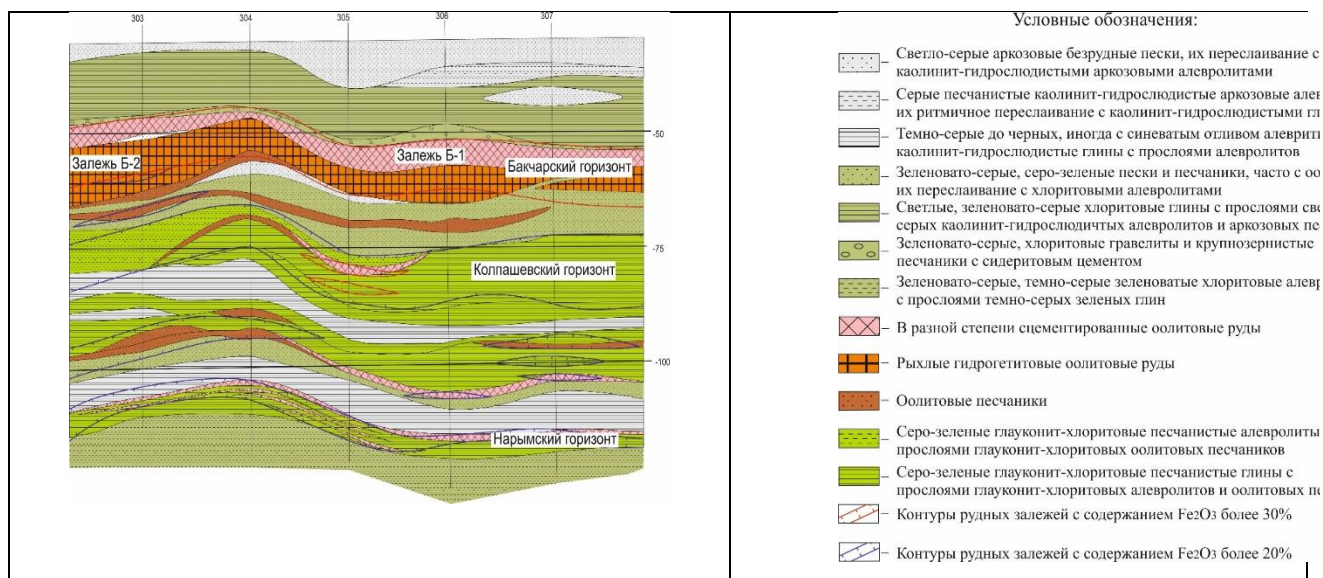


Рисунок 1 – Геологический разрез участка детализации [1, 22, ОПФ 2, 3, 4]

Масштаб вертикальный: 1:400, масштаб горизонтальный 1: 10000

Колпашевский железорудный горизонт (рис. 3) лежит на 20 – 50 м выше нарымского. Колпашевский горизонт формировался на фоне быстрого роста уровня моря в кампан-маастрихтское время. В связи с этим происходило затопление прибрежной части бассейна, подошвой рудного горизонта каолинитовые глины на которых накапливались грубообломочные лептохлоритовые породы и песчаники с глауконитом. В последних устанавливаются прослой оолитовых руд, эти отложения невыдержанны по площади и по латерали сменяются оолитовыми песчаниками [19]. В составе руд и вмещающих пород большую роль играют обломки местных пород, указывающие на интенсивные процессы перемыва отложений (Западно-Сибирский..., 1964) [12].

Средняя мощность продуктивных отложений колпашевского горизонта равна 2,4 м, а содержание железа в рудных пересечениях составляет 25 – 32 %, реже до 39 %. Наиболее высокое содержание железа (44,5 – 63,0 %) характерно для участков, где в подрудном рельефе наблюдаются широкие (1 – 5 км), вытянутые в меридиональном направлении ложбины. По простиранию и вертикали руды переходят в железистые песчаники, алевролиты, алевритистые глины с зернами глауконита и редкими оолитами лептохлоритового состава. На Восточном (Полынянском) участке Бакчарского рудного поля руды этого

горизонта имеют значительную мощность, сближены с бакчарским рудным горизонтом и отделяются от него прослоем железистого песчаника. В целом для колпашевского горизонта фиксируется циклическое строение, выраженное в вертикальной смене глинистых и псаммитовых пород с одной стороны и обогащения осадков лептохлоритом (глауконитом) и оолитами гидрогётита с другой [1].

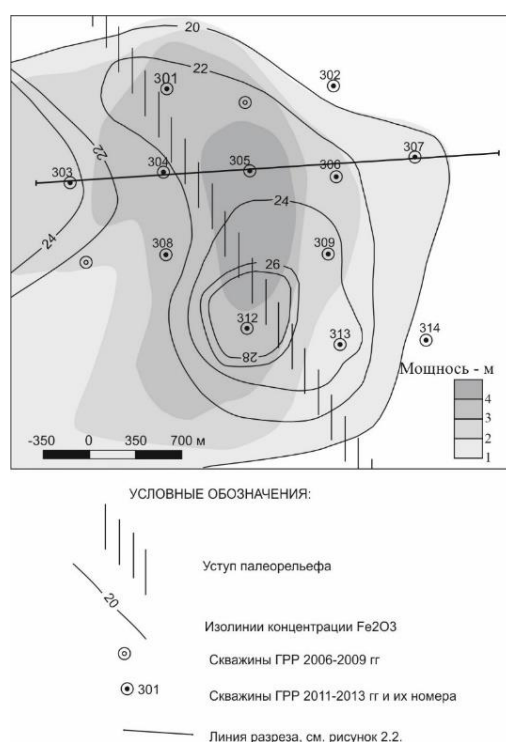


Рисунок 2 – Пространственные характеристики Нарымского рудного горизонта (мощности (оттенки серого) и концентраций Fe₂O₃ в рудах) [1, 22, ОПФ 2, 3, 4]

На изученном участке, в пределах рудоносного горизонта фиксируется два крупных цикла отделенные друг от друга слоем каолиновых (чёрных) и лептохлорит-глауконитовых (зеленых) глин (рис. 2). Руды нижнего цикла вскрываются на глубине 210 – 220 м, где представлены цельными (от 1,5 до 6 м) или разобшёнными в разрезе линзами (1 – 2 м) с концентрацией железа от 20 до 24,8 %. При этом с определённой долей условности здесь можно выделить два рудных тела, залегающих на границе слоёв хлоритовых (зеленовато-серых) и глауконитовых (зелёных) песчаников. В восточной части они слагаются слабо сцементированными оолитовыми рудами, которые к западу сменяются лептохлорит-глауконитовыми песчаниками обогащёнными оолитами.

Верхний рудный цикл колпашевского горизонта вскрывается на глубинах 180 – 200 м и приурочен к горизонту глауконитовых песчаников. Рудоносный слой перекрывается глауконитовыми алевролитами на западе и слабо литифицированными хлоритовыми песчаниками на востоке. Непосредственно руды характеризуются циклическим строением и представлены чередованием лептохлорит-глауконитовых песчаников (хлоритовые руды по Е.М. Асочаковой [1, 21, 22], зеленовато-бурых глауконит-гётитовых псаммитов (переходные руды) и слабосцементированных оолитовых (оолитовые руды). При этом с востока на запад изученного участка устанавливается фациальная смена продуктивных осадков, которая фиксируется в уменьшении их зернистости до алевритовой размерности и увеличения количественной доли переходных руд за счёт оолитовых. Максимальная концентрация последних устанавливается в центральной полосе участка и приурочена к уступу палеорельефа северо-западного простирания. В целом данный слой характеризуется выдержанным залеганием, его мощность варьирует от 5,5 до 14,8 м, а содержание железа от 20 до 36 % при среднем 26 %, пространственно область максимальных концентраций связана с полем повышенных мощностей и приурочена к зоне склонения поверхности осадконакопления (рис. 4, а). Здесь же фиксируются и маломощные (до 2 м) пересечения с содержанием гидроокислов железа более 36 %, по которым может быть реконструировано более богатое лентовидное рудное тело, вытянутое в северо-западном направлении (рис. 4, в).

Бакчарский железорудный горизонт охватывает весь разрез талицкой свиты и приподошвенные части люлинворской свиты в областях размыва нижележащих отложений. В составе талицкой свиты этот горизонт характеризуется региональным распространением, его продуктивные породы локализованы на разных уровнях разреза и представлены маломощными линзовидными скоплениями оолитовых руд и песков, обогащённых гидрогётитом. В зонах размыва оолитовые горизонты тяготеют к основанию люлинворской свиты, где резко наращивают свою мощность до 20 и более метров, при среднем уровне в 10 – 12 м. Как правило, эти горизонты перекрываются маломощным (0,2 – 2,0 м) слоем гравелитов основания

люлинворской свиты. Предполагается, что формирование бакчарского железорудного горизонта по времени приурочено к максимуму регрессии зеландско-нижнетанетского времени.

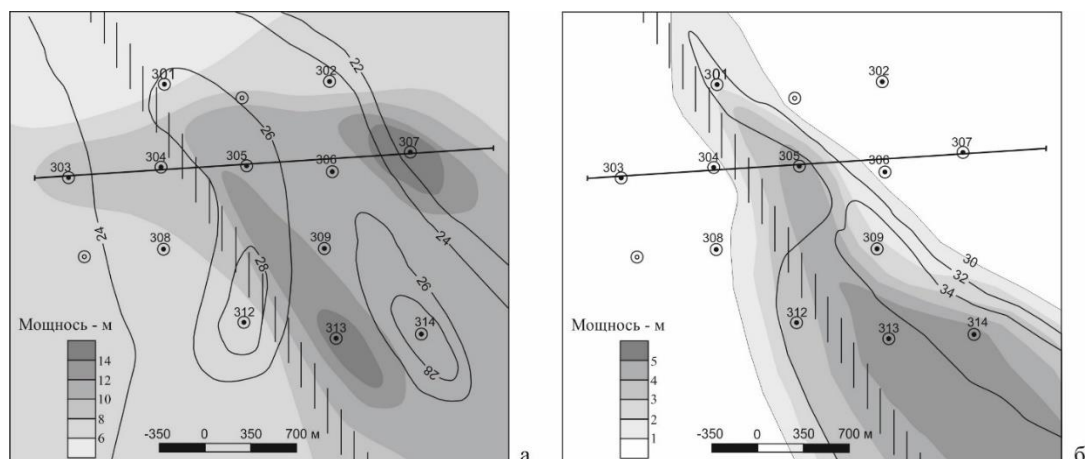


Рисунок 3 – Пространственные характеристики мощности рудной залежи (оттенки серого) колпашевского рудного горизонта и концентраций Fe_2O_3 в рудах различного качества: по бортовому содержанию $Fe_2O_3 > 20\%$ (а); по бортовому содержанию $Fe_2O_3 > 30\%$ (б).

Условные обозначения см. рис. 2 [1, 22, ОПФ 2, 3, 4]

Руды бакчарского горизонта залегают на хлоритовых и каолининовых песках, которые в кровельной части обнаруживают существенную примесь гидрогётитовых оолитов. Сами рудные породы представляют собой рыхлый слой оолитов, которые в верхней части разреза сцементированы сидеритом. В отличие от нижележащих руд руды бакчарского горизонта максимально обогащены железом, концентрация которого изменяется от 20 до 45 % при среднем содержании на уровне 37,75 %. Наиболее богатые руды установлены в центральной части оценочного участка, где образуют полосу северо-западного простирания, приуроченную к верхней ступени уступа поверхности палеорельефа. Мощность руд бакчарского горизонта варьирует от 8 до 14,5 м при среднем значении 11 м. Пространственные вариации его объёмов фиксируют штамповые области пережима, разделённые узкими линейными зонами повышенных мощностей северо-западного направления. Как правило, эти зоны ориентированы под углом к полосе наиболее богатых руд.

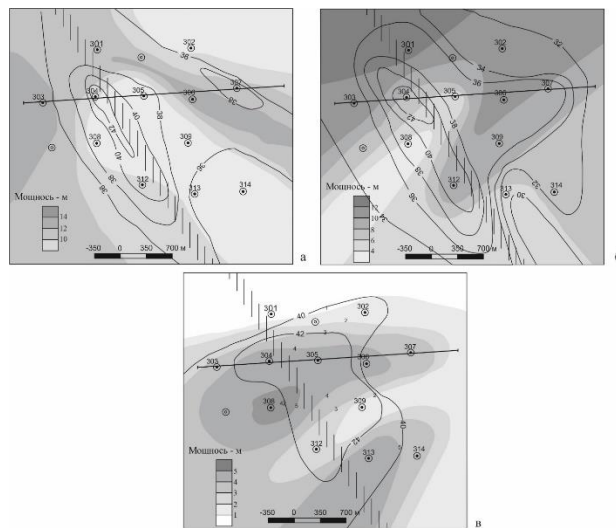


Рисунок 4 – Пространственные характеристики мощностей (оттенки серого) бакчарского рудного горизонта и концентраций Fe_2O_3 по горизонту в целом (а), в пределах залежи Б-2 сыпучих оолитовых гидрогётитовых руд (б), в пределах залежи Б-1 сливных гидрогётит-сидеритовых руд (в). Условные обозначения см. рис. 2 [1, 22, ОПФ 2, 3, 4]

По положению в разрезе, минеральному составу и текстурно-структурным особенностям в пределах бакчарского горизонта выделяется два рудных слоя: сыпучих гётит-гидрогётитовых и крепких сидерит-гидрогётитовых. Сыпучие руды (залежь Б2) залегают в основании горизонта их мощность варьирует от 3 до 12,5 м, достигая максимальных значений в северной и северо-западной части месторождения. При этом её пространственные вариации обнаруживают изменчивость вдоль оси северо-восточного направления. Содержания железа изменяются от 30 до 45 % при среднем значении 36 %. Пространственная неоднородность качества руд носит двойственный характер: с одной стороны, зоны повышенных концентраций контролируются уступом палеорельефа северо-западного простирания, а с другой – ортогональным направлением согласно изменчивости мощностей.

Вверх по разрезу сыпучие руды постепенно обогащаются сидеритом и сменяются слоем крепких сидерит-гидрогётитовых руд (залежь Б1), которые перекрываются плотными сидеритизированными гравелитами с хлоритовым цементом. Сидерит-гидрогётитовые руды отличаются повышенной концентрацией железа 37,5 – 44,5 %, при среднем содержании около 41,5 %.

Крайне низкие вариации качества этих руд подчёркиваются слабой и пространственной изменчивостью, которая компенсируется резкой неоднородностью мощностей данной залежи. Их колебания достигают 500 % (от 0,9 до 5 м), при этом минимальные мощности устанавливаются в северной и юго-западной части месторождения. Общая геометрия неоднородности горизонта определяется осью восток – северо-восточного направления. Подобный характер распределения сидерита и неоднородность контроля латеральной изменчивости качества руд и мощностей рудных залежей определяется наложенной эпигенетической природой карбонатизации, цементирующей оолиты в кровельной части бакчарского горизонта. При этом первичное накопление железа контролируется элементами палеорельефа, в то время как наложенные процессы сидеритизации могли оказывать влияние на локальное уплотнение пород и их частичное обогащение железом. Природа сидерита может иметь как эндогенный (при котором карбонатные гидротермальные растворы экранируются люлинворской свиты), так и экзогенный характер, связанный с резкой трансгрессией моря и взаимодействием солёных вод с подстилающими породами. При этом северо-восточный вектор изменчивости свойств горизонта может указывать пространственную позицию глубинных разломов или отражать фронт танетской трансгрессии.

Заключение

Рудная толща перекрывается морскими глинистыми образованиями люлинворской свиты, которые являются верхним водоупором для вод рудоносной толщи, отделяя их от верхних водоносных горизонтов, водовмещающими являются пески и слаботрещиноватые слабоцементированные оолитовые железные руды.

В верхней части Бакчарского горизонта пласт руды имеет плотное сложение с прочной цементацией гидрогётита сидеритом. Плотные руды вниз по разрезу сменяются менее плотными оолитовыми рудами и «сыпучками», которые отмечаются повышенной водообильностью. На первых этапах подземного выщелачивания плотные руды будут являться верхним

водоупором, но по мере развития процессов выщелачивания сидерит цемента будет растворяться и руды станут проницаемыми. Необходимо отметить, что это касается всей рудной толщи, растворопроницаемость которой будет расти во времени, так как рудные минералы занимают значительную часть объёма рудного тела и их выщелачивание приведет к повышению пористости. Нижним водоупором являются глинистые образования, подстилающие рудоносные толщи, или же скальные породы фундамента [1 – 13, 18, 19, 24, 25].

Таким образом, характер литолого-петрографических особенностей руд однозначно свидетельствует об афациальности формирования руд и в значительной степени указывает на их эпигенетический характер. Сцементированные руды являются продуктом сидеритизации рудоносных осадков, а рыхлые руды горизонта Б2 сформированы в результате выщелачивания карбонатов под воздействием глубинных растворов.

Следует согласиться с точкой зрения Д.И. Павлова и А.А. Карцева [20, 23], что в зонах катагенной разгрузки подземных вод нефтегазоносных бассейнов (НГБ) локализован ряд крупных и весьма крупных осадочных накоплений железа и марганца (в аспекте статьи, скорее генетическом, чем утилитарном, нас больше интересуют запасы металла, а не руд высоких кондиций). Для оценки масштабов железнакопления в зонах катагенной разгрузки подчеркнем, что по массе металла (сотни млрд т) оолитовые руды Западно-Сибирского пояса превышают все известные железистые кварциты Европейской части России (десятки млрд т). Более того, последние вполне сопоставимы с одним лишь Бакчарским рудным узлом Западной Сибири (более 20 млрд т). Таким образом, традиционные представления об особой исключительности масштабов железнакопления, связанного с докембрийскими железисто-кремнистыми формациями, не так уж безусловны. Сходное мнение было высказано ранее Б.М. Михайловым и др. [14 – 17].

Поскольку разгрузка подземных вод НГБ носит в основном импульсный характер, понятна дискретность проявлений осадочного оруденения в разрезах. Наиболее ощутимые импульсы разгрузки приурочены к временам максимального тектонического беспокойства, что соответствует обычной

приуроченности крупных рудных скоплений к основаниям трансгрессивных циклов.

Дискретность проявлений осадочных руд в разрезе нередко сказывается в их повторяемости ("многоэтажности"). Так, в рудах Западной Сибири четыре полноправных уровня, верхний из которых даже расположен внутри регионального водоупора. Однако, как упоминалось выше, внутри него в линзах возможных коллекторов локализован ряд залежей нефти во вторичном залегании, что фиксирует реализованную возможность локальных преодолений данного водоупора жидкими телами [20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асочакова Е.М. Минералого-геохимические особенности железнакопления мел-палеогеновых толщ Западной Сибири на примере бакчарского месторождения // Дисс. на соиск. уч. степ. канд. г.-м.н., Томск, 2013. – 121 с.

2. Белоус Н.Х. К вопросу об условиях формирования железных руд при осадконакоплении / Горно-геологический институт: Труды. АН СССР. Зап.-Сиб. филиал. – 1952. - Вып. 12. – С. 69–82.

3. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Новосибирская, Омская, Томская области / Под ред. А.В. Каныгина, В.Г. Свиридова. Т. 1: Геологическое строение. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1999. - 228 с.

4. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Новосибирская, Омская, Томская области / Под ред. Н.А. Рослякова, В.Г. Свиридова. Т. 2: Полезные ископаемые. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1998. - 294 с.

5. Геология и полезные ископаемые России. В 6 т. Т. 2.: Западная Сибирь / Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. – 479 с.

6. Гольберт А.В. Железоносные формации в мезозойских и кайнозойских отложениях Западно-Сибирской низменности / Осадочные серии мезозоя и палеогена Сибири. Труды ИГиГ. – 1963. – Вып. 20. – С. 102–117.

7. Голубовская Е.В. Фациальные и геохимические особенности железорудного комплекса Керченских месторождений // Литология и полезные ископаемые. - 2001. - № 3. - С. 259–273.
8. Горюхин Е.Я. О некоторых геохимических критериях установления обстановок формирования железорудных бассейнов (на примере Западной Сибири) / Проблемы геологии Сибири: Тезисы докладов научных чтений, посвященные 100-летию со дня рождения проф. В.А. Хахлова. Т. 2. – Томск, 1994. - С. 36.
9. Горюхин Е.Я., Рубцов А.Ф., Киселева Е.С. Минерально-сырьевые ресурсы твердых полезных ископаемых Томской области (по работам Томской ГРЭ) // Материалы региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. Т. II. – Томск, 2000. С. 23–25.
10. Гринёв О.М., Григорьева Е.А., Булаева Е.А., Тюменцева Е.П. Литогеохимическая характеристика основных типов железных руд Бакчарского месторождения / Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых. Материалы научной конференции. - Томск: ТПУ, 2010. С. 190–196.
11. Железорудная база России / Л.К. Антоненко, Г.И. Архипов, И.А. Бергман и др.; глав. ред. В.П. Орлов; Мин-во природных ресурсов РФ. - М.: ЗАО Геоинформмарк, 1998. – 848 с.
12. Западно-Сибирский железорудный бассейн / Н.Х. Белоус, Ю.П. Казанский. В.В. Вдовин и др.; гл. ред. Ф.Н. Шахов. - Новосибирск: РИО СО РАН СССР, 1964. – 447 с.
13. Западная Сибирь. Геология и полезные ископаемые России. В 6 т. Т. 2 / Гл. ред. В.П. Орлов. Ред. 2 тома А.Э. Конторович, В.С. Сурков. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. – 477 с. (МПР РФ, РАН, СНИИГГиМС, ВСЕГЕИ).
14. Казанский Ю.П. Меловые и палеогеновые осадочные формации Среднего Приобья (Западно-Сибирская низменность). Труды ИГиГ. Вып. 18. – 1963. – 353 с.

15. Казанский Ю.П. О фациальной природе верхнемеловых железных руд восточной части Западно-Сибирской низменности // Известия вузов. Геология и разведка. – 1959. - № 5. – С. 79–86.
16. Князев Г.Б. Формация осадочных железных руд и место в ее составе железных руд Западно-Сибирского бассейна. Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири: Материалы межрегиональной научно-практической конференции и Круглых столов. – Томск: ЦНТИ, 2009. С. 180–187.
17. Кондаков А.Н. Некоторые фациальные и геохимические особенности формирования железорудной толщи Бакчарского месторождения // Известия ТПИ. – 1971. – Т. 177. – С. 45–51.
18. Нагорский М.П. Западно-Сибирский железорудный бассейн // Советская геология. – 1958. - № 9. – С. 13–29.
19. Николаева И.В. Бакчарское месторождение оолитовых железных руд. - Новосибирск: Наука СО АН СССР, 1967. - 129 с.
20. Павлов Д.И., Карцев А.А. Зоны катагенной разгрузки подземных вод нефтегазоносных бассейнов и осадочный рудогенез // Геология рудных месторождений. – 1995. – Т. 37. – № 2. – С. 122–131.
21. Подобина В.М., Татьяна Г.М., Кривенцов А.В., Ксенева Т.Г. Стратиграфическое положение и особенности формирования железорудных горизонтов на территории Томской области // Проблемы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых. Материалы юбилейной научно-практической конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. С. 115–120.
22. Рудмин М.А. Седиментационная модель и типы руд Бакчарского железорудного проявления (Томская область) // Автореферат на соиск. уч. степени канд. г.-м. наук. – Томск, 2015.
23. Стахович В.А. Рифтогенез и юрские оолитовые железные руды Европы // Советская геология. – 1986. – № 9. – С. 41–52.
24. Холодов В.Н. Фациальные типы осадочных железорудных месторождений и их геохимические особенности. // Литология и полезные ископаемые. – 2012. – № 6. – С. 503–531.

25. Шацкий С.Б. Железоносные верхнемеловые отложения восточной части Западно-Сибирской низменности // Вестник ЗСГУ. - 1957. – Вып. 1. - С. 36–43.

Фондовая:

1. Легенда Обской подсерии Западно-Сибирской серии листов государственной геологической карты Российской Федерации. Масштаб 1:200000. / Под ред. А.Е. Бабушкина. - Томск, 2000. – 62 с. – Инв. № 975.

2. Материалы к изучению Западно-Сибирского железорудного бассейна. Окончательный отчёт Томской опробовательской партии за 1957 – 1958 гг. / Томская комплексная экспедиция, рук. А.П. Бердников, Е.Я. Горюхин. - Томск, 1959. – Инв. № 545.

3. Отчёт Бакчарской партии о результатах поисковых работ в юго-восточной части Западно-Сибирского железорудного бассейна за 1957 – 1958 гг. / ТГРЭ, рук. А.А. Бабин, А.С. Донченко. - Томск, 1959. – Инв. № 544.

4. Отчёт Геолого-минералогическое картирование бурых железняков в южной части Западно-Сибирского железорудного бассейна (междуречье рр. Андармы и Иксы, Томская область) / рук. П.А. Тишин, Е.М. Асочакова, О.В. Бухарова, Т.С. Небера. – Книга 1. – Томск, 2014. – 69 с.

Публикация осуществлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований 19-45-700001.19.

*В.А. Домаренко¹, Б.К. Кенесбаев², Е.В. Перегудина² А.Я. Пшеничкин²,
В.П. Дмитриенко²*

**К ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ КОМПЛЕКСНЫХ
ЖЕЛЕЗО-РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ РУД ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ПОЯСА
НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ БАКЧАРСКОГО РУДНОГО УЗЛА
(ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

¹ МПРиООС, г. Томск,

*ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск*

Введение

В качестве реальных сырьевых источников редкоземельного сырья отечественные эксперты рассматривают:

- лопарит Ловозера;
- семь апатит-нефелиновых месторождений Хибин;
- Туганское монацит-циркон-рутил-ильменитовое месторождение;
- монацит из Госрезерва (Красноуфимск);
- подготовленное для промышленного освоения Катугинское циркон-пирохлоргагаринит-иттрофлюоритовое месторождение [1, 3, 4, 10, 11, 13 – 15].

Эти источники либо находятся в эксплуатации, либо могут стать таковыми в течение ближайших 3 – 5 лет. Остальные, включая Томтор и Чуктукон, требуют проведения тех или иных работ и находятся в категории потенциальных или перспективных.

В монаците группа лёгких РЗЭ составляет 94 %, в лопарите – 95 %, поэтому как месторождение тяжёлых редкоземельных элементов может рассматриваться только Катугинское с содержанием иттриевой группы около 40%.

Кроме перечисленных существует еще эвдиалитовое месторождение (г. Аллуайв, в десяти километрах от промплощадки Ловозерского ГОКа). Содержание тяжёлых в эвдиалите около 35 %. Инфраструктурные возможности организации его добычи и переработки очень благоприятны. ИХТРЭМС владеет

технологией переработки эвдиалита с получением редкоземельных элементов, тантала, циркония.

При этом хорошо известно, что большая часть затрат средств и времени от начала проекта до выпуска продукции тратится на создание горно-обогатительного комплекса [1, 4, 11].

На наш взгляд реальными источниками «критических» РЗЭ в нашей стране могут являться кроме продуктов переработки апатита – фосфогипс и экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) комплексные железоредкоземельные руды Западно-Сибирского железорудного пояса.

Отсутствие радиоактивности и необходимости в создании горно-обогатительного комплекса даёт им дополнительные преимущества перед рудным сырьём и решает серьёзную природоохранную задачу [6, 7, 9, 12].

Методы и материалы

Бакчарский рудный узел является одним из крупнейших железорудных районов в России и мире, руды которого имеют комплексный характер, находится на территории Бакчарского района Томской области в междуречье рек Андарма и Икса (притоки реки Чая) [12].

Особенностью руд является их комплексный характер с постоянным присутствием редких земель, благородных металлов, фосфора, ванадия в количестве 0,20 – 0,25 %, кобальта, что существенно увеличивает их ценность [6, 7, 12].

Целью работы является анализ руды на содержание редких и редкоземельных металлов и определение возможности и целесообразности их извлечения.

Разработка комплексной технологии переработки железосодержащих концентратов Бакчарского рудного узла можно разбить на несколько этапов [2, 4, 5, 8]:

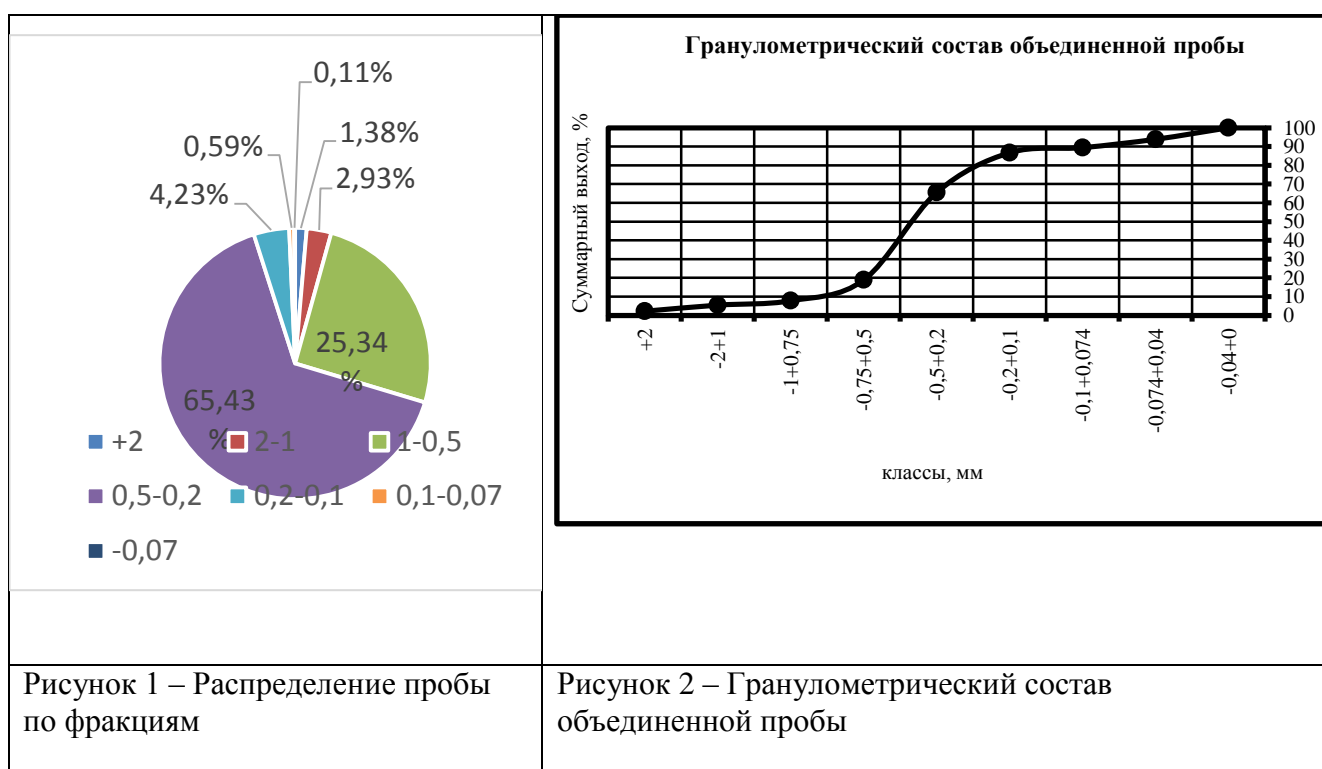
Этап I. Поставка и приемка опытной партии руды (концентратов) для проведения исследований;

Этап II. Исследование химического, гранулометрического и радиометрического состава опытной партии концентрата;

Этап III. Исследование процесса восстановления железосодержащего концентрата полукоксом. Исследование распределения суммы редкоземельных металлов по продуктам технологического передела. Разработка принципиальной схемы комплексной технологии переработки железорудных концентратов;

Этап IV. Выбор способов и определение оптимальных параметров отдельных стадий процесса обогащения РЗМ-содержащего сырья: магнитная сепарация, флотация, гравитационное обогащение.

Обработка полученных результатов и подготовка отчета о НИР с рекомендациями по вскрытию и получению концентратов смеси РЗМ.



Результаты проведения ситового анализа показывают, что основную массу исходных проб составляет фракция -1,0 и менее. На долю более крупных фракций приходится всего 4,31 %, что позволяет судить об отсутствии необходимости дробления и измельчения исходного сырья на стадиях дальнейшего передела, но вполне возможно, что при разработке технологического процесса появится необходимость в окомковании и агломерации. Результаты гранулометрического анализа объединенной пробы приведены на рис. 1, 2 и в табл. 1.

Таблица 1 – Гранулометрический анализ объединенной пробы

Класс, мм	Выход, %		Содержание, массовая доля, %	Распределение, массовая доля, %
	Частный	Суммарный	Fe _{общ.}	Fe _{общ.}
+2	2,23	2,23	22,63	1,93
-2+1	3,24	5,47	23,80	2,96
-1+0,75	2,32	7,79	22,58	2,01
-0,75+0,5	11,09	18,88	31,95	13,59
-0,5+0,2	46,61	65,49	28,17	50,35
-0,2+0,1	21,21	86,70	20,12	16,36
-0,1+0,074	2,71	89,41	22,53	2,34
-0,074+0,04	4,47	93,88	25,58	4,38
-0,04+0	6,12	100,00	25,90	6,08
Всего	100,00		26,08	100,00

Гравитационно-магнитное обогащение исходной руды объединённой пробы.

Из гравитационных методов обогащения в данных исследованиях применена винтовая сепарация руды, отсадка, концентрация на столе. Полученные промежуточные продукты подвергались доводке магнитным способом обогащения на электромагнитном однороликовом сепараторе.

Винтовая сепарация (табл. 2) повышает массовую долю железа в промпродукте на 3 %, а доводка его на магнитном сепараторе позволяет получить концентрат с массовой долей железа 40,60 % при извлечении 74,06 %. Кондиционного концентрата при этом не получено. Хвосты винтовой сепарации имеют выход 27,04 %, с ними теряется 19,02 % железа. Винтовая сепарация проведена на сепараторе ВСП, при расходе смывной воды 0,2 л/с.

Концентрация на столе (табл. 3) повышает качество промпродукта по железу до 37,59 %, но извлечение его составляет 48,96 %. Доводка промпродукта методом магнитной сепарации позволяет получить кондиционный для доменной плавки концентрат с массовой долей железа 46,89 % при выходе 23,55 % и извлечении 42,88 %, хвосты в количестве 76,45 %, в которых железа 19,24 %. В опытах использовался стол концентрационный 30^A КЦ-1. Расход смывной воды составил 5 л/мин, наклон деки 8°, число колебаний деки 250/мин. Оттирка исходной руды крупностью -1мм позволяет выделить шлам с массовой долей железа 21,23 % в количестве 19,36 %.

Магнитная сепарация песковой части крупностью -1 мм и доизмельченной до -0,5 мм не позволила получить кондиционный концентрат по железу (массовая доля железа составила 37,83 и 38,78 %). Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты обогащения объединённой пробы по гравитационно-магнитной схеме

Продукты	Выход, %		Массовая доля Fe общ, %	Извлечение Fe общ, %	
	от операции	от исходной руды		от операции	от исходной руды
Винтовая сепарация исходной руды					
Концентрат 1	-	72,96	28,56	-	80,98
Хвосты 1	-	27,04	18,10	-	19,02
Исходная руда	-	100,00	25,73	-	100,00
Магнитная сепарация концентрата 1					
Концентрат 2	64,33	46,94	40,60	91,45	74,06
Хвосты 2	35,67	26,02	6,85	8,55	6,92
Концентрат 1	100,00	72,96	28,56	100,00	80,98
Суммарные результаты после винтовой и магнитной сепарации					
Концентрат	-	46,94	40,60	-	74,06
Хвосты	-	53,06	12,58	-	25,94
Исходная руда	-	100,00	25,73	-	100,00
Продукты	Выход, %		Массовая доля Fe общ, %	Извлечение Fe общ, %	
	от операции	от исходной руды		от операции	от исходной руды
Обогащение исходной руды на концентрационном столе					
Концентрат 1	-	33,54	37,59	-	48,96
Хвосты 1	-	66,46	19,78	-	51,04
Исходная руда	-	100,00	25,75	-	100,00
Магнитная сепарация концентрата 1					
Концентрат 2	70,21	23,55	46,89	87,58	42,88

Продолжение таблицы 2

Хвосты 2	29,79	9,99	15,67	12,42	6,08
Концентрат 1	100,00	33,54	37,59	100,00	48,96
Суммарные результаты					
Концентрат	-	23,55	46,89	-	42,88
Хвосты	-	76,45	19,24	-	57,12
Исходная руда	-	100,00	25,75	-	100,00

Таблица 3 – Результаты обогащения объединённой пробы по схеме оттирка, магнитная сепарация.

Продукты	Выход, %		Массовая доля Fe _{общ} , %	Извлечение Fe _{общ} , %	
	от операции	от исходной руды		от операции	от исходной руды
Оттирка исходной руды крупностью -1 мм					
Пески	-	80,64	27,64	-	84,43
Шлам	-	19,36	21,23	-	15,57
Исходная руда	-	100,00	26,40	-	100,00
Магнитная сепарация песков					
Концентрат	62,05	50,04	38,78	87,05	73,50
Хвосты	37,95	30,60	9,43	12,95	10,93
Пески	100,00	80,64	27,64	100,00	84,43
Суммарные результаты					
Концентрат	-	50,04	38,78	-	73,50
Хвосты	-	49,96	14,00	-	26,50
Исходная руда	-	100,00	26,40	-	100,00
Оттирка исходной руды крупностью -0,5 мм					
Пески	-	79,90	26,36	-	82,48
Шлам	-	20,10	22,26	-	17,52
Исходная руда	-	100,00	25,54	-	100,00
Магнитная сепарация песков					
Концентрат	63,07	50,39	37,83	90,52	74,66

Продолжение таблицы 3

Хвосты	36,93	29,51	6,77	9,48	7,82
Пески	100,00	79,90	26,36	100,00	82,48
Суммарные результаты					
Концентрат	-	50,39	37,83	-	74,66
Хвосты	-	49,61	13,05	-	25,34
Исходная руда	-	100,00	25,54	-	100,00

Анализ исходной объединенной пробы и концентрата

Исходная объединенная проба представлена сыпучим материалом, состоящим из гидрогетитовых руд и рудовмещающих алеврито-песчанистых пород. Макроскопически она выглядит как «песок» темно-бурого, черно-бурого цвета с корочками и примазками пелитоморфного охристого материала бурого, зеленовато-бурого цвета. В единичных количествах встречаются магнетит, гематит, ильменит, пирит, эпидот-цоизит, роговая обманка, гранаты, ставролит, циркон, рутил, анатаз, лейкоксен, сфен, дистен, андалузит, силлиманит, апатит. Основной железосодержащий минерал (гидрогетит) находится в тонкодисперсном состоянии и тонкоагрегативном срастании с глинистыми минералами и фосфатами. Определение элементного состава проб проводилось на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре Shimadzu XRF – 1800 методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. Элементный состав исходной пробы представлен в табл. 4. и на рис. 3.

Таблица 4 – Элементный состав исходной пробы

Элемент		Содержание, %
Железо	Fe	34,0609
Кислород	O	47,2917
Кремний	Si	12,2731
Алюминий	Al	3,0796
Фосфор	P	0,9900
Калий	K	0,7418
Магний	Mg	0,4614
Кальций	Ca	0,2433
Ванадий	V	0,2228
Титан	Ti	0,1870
Марганец	Mn	0,1574

Продолжение таблицы 4

Мышьяк	As	0,0945
Хром	Cr	0,0685
Углерод	C	0,0424
Цинк	Zn	0,0336
Сера	S	0,0194
Никель	Ni	0,0135
Иттрий	Y	0,0073
Медь	Cu	0,0066
Стронций	Sr	0,0052

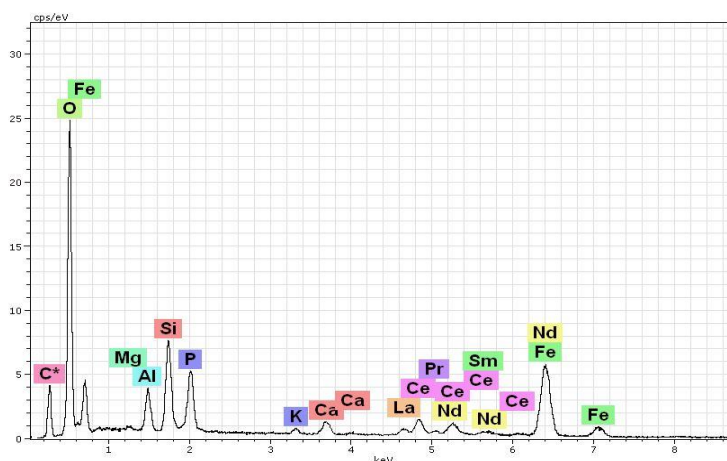


Рисунок 3 – Спектрограмма объединенной исходной пробы руды

Результаты проведенных анализов показывают наличие в исходных пробах присутствие ряда редкоземельных металлов, в частности лантана, церия, празеодима, неодима, самария, иттрия и других, но содержание редкоземельных металлов незначительно. Необходимо установить, на каких стадиях технологического передела и в каком виде происходит концентрирование РЗМ. В табл. 5 – 8 показаны результаты анализа нескольких исходных проб и объединенной пробы до и после магнитной сепарации.

Таблица 5 – Результаты анализа исходных и объединенной проб

№ п/п	Номер пробы заказчика	g14912	g14913	g14914	g14915	g14916	g14917	g14918
	Определяемая характеристика	Содержание, %						
1	Фосфор (P)	0,34	0,36	0,40	0,46	0,49	0,52	0,47
2	Скандий (Sc)	0,00041	0,0012	0,00031	0,0017	0,00080	0,0010	0,0018
3	Ванадий (V)	0,092	0,11	0,10	0,14	0,14	0,11	0,13
4	Железо (Fe)	30,7	38,6	35,6	42,0	38,7	40,0	40,5
5	Мышьяк (As)	0,054	0,062	0,057	0,091	0,080	0,074	0,076
6	Иттрий (Y)	0,0036	0,0042	0,0036	0,0052	0,0054	0,0050	0,0047
7	Лантан (La)	0,0065	0,0065	0,0060	0,0087	0,0085	0,0082	0,0074
8	Церий (Ce)	0,016	0,016	0,016	0,022	0,023	0,020	0,018
9	Празеодим (Pr)	0,0017	0,0019	0,0017	0,0024	0,0026	0,0021	0,0021

Продолжение таблицы 5

10	<i>Неодим (Nd)</i>	0,0085	0,0096	0,0083	0,012	0,012	0,011	0,011
11	<i>Самарий (Sm)</i>	0,0016	0,0016	0,0015	0,0022	0,0020	0,0021	0,0020
12	<i>Европий (Eu)</i>	0,00040	0,00035	0,00036	0,00052	0,00049	0,00050	0,00047
13	<i>Гадолиний (Gd)</i>	0,0017	0,0016	0,0017	0,0022	0,0024	0,0023	0,0019
14	<i>Тербий (Tb)</i>	0,00023	0,00025	0,00023	0,00028	0,00033	0,00031	0,00025
15	<i>Диспрозий (Dy)</i>	0,0011	0,0012	0,0010	0,0015	0,0016	0,0014	0,0013
16	<i>Гольмий (Ho)</i>	0,00019	0,00023	0,00019	0,00028	0,00029	0,00025	0,00025
17	<i>Эрбий (Er)</i>	0,00057	0,00067	0,00060	0,00086	0,00077	0,00077	0,00074
18	<i>Тулий (Tm)</i>	0,000083	0,000083	0,000090	0,00012	0,00011	0,00011	0,00011
19	<i>Иттербий (Yb)</i>	0,00050	0,00055	0,00061	0,00077	0,00070	0,00078	0,00067
20	<i>Лютеций (Lu)</i>	0,000059	0,000074	0,000078	0,000095	0,000099	0,000093	0,000088
21	Висмут (Bi)	0,00015	0,000060	0,000044	0,0010	0,00065	0,000071	0,000073
22	Торий (Th)	0,0017	0,0013	0,0012	0,0025	0,0026	0,0018	0,0023
23	Уран (U)	0,00020	0,00024	0,00022	0,00033	0,00030	0,00026	0,00027

Продолжение таблицы 5 -Результаты анализа исходных и объединенной проб

№ п/п	Номер пробы лаборатории	8	11	3/5	4/8	6/4	15/1	Объединенная проба
	Номер пробы заказчика	g14920	g14921	g14922	g14923	g14924	g14925	g14926
	Определяемая характеристика	Содержание, %						
1	Фосфор (P)	0,39	0,52	0,0068	0,052	0,012	0,071	0,57
2	Скандий (Sc)	0,0010	0,0016	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00074
3	Ванадий (V)	0,13	0,14	0,0032	0,022	0,0026	0,027	0,15
4	Железо (Fe)	34,5	41,8	0,80	5,37	1,10	6,68	42,1
5	Мышьяк (As)	0,070	0,083	0,0020	0,012	0,0021	0,015	0,088
6	<i>Иттрий (Y)</i>	0,0044	0,0058	0,00028	0,00093	0,00029	0,0011	0,0061
7	<i>Лантан (La)</i>	0,0066	0,0097	0,00035	0,0012	0,00041	0,0018	0,0089
8	<i>Церий (Ce)</i>	0,017	0,026	0,00066	0,0026	0,00081	0,0041	0,025
9	<i>Празеодим (Pr)</i>	0,0019	0,0030	0,000067	0,00032	0,000085	0,00042	0,0030
10	<i>Неодим (Nd)</i>	0,010	0,014	0,00034	0,0016	0,00041	0,0020	0,015
11	<i>Самарий (Sm)</i>	0,0018	0,0024	0,000063	0,00027	0,000062	0,00030	0,0028
12	<i>Европий (Eu)</i>	0,00037	0,00054	0,000014	0,000053	0,000014	0,000064	0,00060
13	<i>Гадолиний (Gd)</i>	0,0017	0,0024	0,000065	0,00027	0,000076	0,00036	0,0026
14	<i>Тербий (Tb)</i>	0,00026	0,00034	0,000010	0,000034	0,000011	0,000045	0,00034
15	<i>Диспрозий (Dy)</i>	0,0013	0,0017	0,000046	0,00017	0,000053	0,00022	0,0017
16	<i>Гольмий (Ho)</i>	0,00024	0,00027	0,000010	0,000035	0,000011	0,000046	0,00030
17	<i>Эрбий (Er)</i>	0,00067	0,00074	0,000034	0,00018	0,000036	0,00014	0,00088
18	<i>Тулий (Tm)</i>	0,00009	0,00011	0,0000049	0,000021	0,0000062	0,000034	0,00012
19	<i>Иттербий (Yb)</i>	0,00056	0,00076	0,000041	0,00014	0,000042	0,00019	0,00082
20	<i>Лютеций (Lu)</i>	0,000076	0,000098	0,0000061	0,000020	0,0000059	0,000025	0,00011
21	Висмут (Bi)	0,000073	0,000069	0,000040	0,0000076	0,0000059	0,000012	0,000074
22	Торий (Th)	0,0024	0,0023	0,000087	0,00044	0,000085	0,00041	0,0025
23	Уран (U)	0,00024	0,00031	0,000023	0,000091	0,000026	0,00010	0,00041

Таблица 6 – Результаты анализа объединенной и магнитных фракций исходных проб после магнитной сепарации и ситового анализа

№ п/п	Номер пробы лаборатории	ТВЗБ-1	Объединенная проба ОФ	Проба 1 МФ > 1	Проба 2 МФ 1,0-0,5	Проба 3 МФ 0,5-0,2	Проба 4 МФ < 0,2	Проба 5 НФ > 1,0
	Номер пробы заказчика	g14927	g14928	g14929	g14930	g14931	g14932	g14933
	Определяемая характеристика	Содержание, %						
1	Фосфор (P)	0,62	0,41	0,31	0,28	0,26	0,12	0,06
2	Скандий (Sc)	0,0010	0,00079	<0,00001	0,00024	<0,00001	<0,00001	<0,00001
3	Ванадий (V)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,11	0,13	0,02
4	Железо (Fe)	39,6	34,8	32,1	31,1	23,7	10,9	6,15
5	Мышьяк (As)	0,066	0,10	0,087	0,085	0,086	0,047	0,016
6	<i>Иттрий (Y)</i>	<i>0,0068</i>	<i>0,0025</i>	<i>0,0027</i>	<i>0,0020</i>	<i>0,0017</i>	<i>0,00090</i>	<i>0,00087</i>
7	<i>Лантан (La)</i>	<i>0,0091</i>	<i>0,0036</i>	<i>0,0035</i>	<i>0,0027</i>	<i>0,0019</i>	<i>0,0015</i>	<i>0,0012</i>
8	<i>Церий (Ce)</i>	<i>0,024</i>	<i>0,0098</i>	<i>0,0094</i>	<i>0,0068</i>	<i>0,0051</i>	<i>0,0032</i>	<i>0,0025</i>
9	<i>Празеодим (Pr)</i>	<i>0,0031</i>	<i>0,0011</i>	<i>0,00099</i>	<i>0,00074</i>	<i>0,00056</i>	<i>0,00035</i>	<i>0,00027</i>
10	<i>Неодим (Nd)</i>	<i>0,015</i>	<i>0,0053</i>	<i>0,0048</i>	<i>0,0038</i>	<i>0,0026</i>	<i>0,0017</i>	<i>0,0013</i>
11	<i>Самарий (Sm)</i>	<i>0,0027</i>	<i>0,00095</i>	<i>0,00079</i>	<i>0,00070</i>	<i>0,00048</i>	<i>0,00028</i>	<i>0,00022</i>
12	<i>Европий (Eu)</i>	<i>0,00060</i>	<i>0,00023</i>	<i>0,00019</i>	<i>0,00018</i>	<i>0,00013</i>	<i>0,000060</i>	<i>0,000053</i>
13	<i>Гадолиний (Gd)</i>	<i>0,0025</i>	<i>0,0011</i>	<i>0,00094</i>	<i>0,00076</i>	<i>0,00061</i>	<i>0,00032</i>	<i>0,00027</i>
14	<i>Тербий (Tb)</i>	<i>0,00034</i>	<i>0,00015</i>	<i>0,00014</i>	<i>0,000093</i>	<i>0,000092</i>	<i>0,000041</i>	<i>0,000035</i>
15	<i>Диспрозий (Dy)</i>	<i>0,0017</i>	<i>0,00068</i>	<i>0,00073</i>	<i>0,00050</i>	<i>0,00042</i>	<i>0,00019</i>	<i>0,00017</i>
16	<i>Гольмий (Ho)</i>	<i>0,00033</i>	<i>0,00012</i>	<i>0,00012</i>	<i>0,000098</i>	<i>0,000079</i>	<i>0,000038</i>	<i>0,000036</i>
17	<i>Эрбий (Er)</i>	<i>0,00092</i>	<i>0,00036</i>	<i>0,00036</i>	<i>0,00031</i>	<i>0,00024</i>	<i>0,00013</i>	<i>0,00011</i>
18	<i>Тулий (Tm)</i>	<i>0,00012</i>	<i>0,000060</i>	<i>0,000059</i>	<i>0,000052</i>	<i>0,000039</i>	<i>0,000020</i>	<i>0,000021</i>
19	<i>Иттербий (Yb)</i>	<i>0,00082</i>	<i>0,00045</i>	<i>0,00043</i>	<i>0,00036</i>	<i>0,00028</i>	<i>0,00015</i>	<i>0,00015</i>
20	<i>Лютеций (Lu)</i>	<i>0,00011</i>	<i>0,000058</i>	<i>0,000059</i>	<i>0,000044</i>	<i>0,000035</i>	<i>0,000018</i>	<i>0,000019</i>
21	Висмут (Bi)	0,000039	0,000023	0,000026	0,000023	0,000013	0,000019	0,0000086
22	Торий (Th)	0,0021	0,00083	0,00044	0,00042	0,00057	0,00071	0,00032
23	Уран (U)	0,00045	0,00012	0,00017	0,00010	0,000089	0,000082	0,000088

Таблица 7 – Результаты анализа объединенной и немагнитных фракций исходных проб после магнитной сепарации и ситового анализа

№ п/п	Номер пробы лаборатории	Проба 6 НФ 1,0-0,5	Проба 7 НФ 0,5-0,2	Проба 8 НФ < 0,2	Проба 9 объединенная	Проба 10 НФ > 1
	Номер пробы заказчика	g14934	g14935	g14936	g14937	g14938
	Определяемая характеристика	Содержание, %				
1	Фосфор (P)	0,10	0,0041	0,010	0,52	0,29
2	Скандий (Sc)	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,0015	0,000094
3	Ванадий (V)	0,065	0,0019	0,0031	0,17	0,083
4	Железо (Fe)	8,92	0,43	1,06	43,0	29,5
5	Мышьяк (As)	0,025	0,0012	0,0017	0,077	0,047
6	<i>Иттрий (Y)</i>	<i>0,00073</i>	<i>0,00025</i>	<i>0,00054</i>	<i>0,0055</i>	<i>0,0031</i>
7	<i>Лантан (La)</i>	<i>0,0010</i>	<i>0,00026</i>	<i>0,00079</i>	<i>0,0083</i>	<i>0,0053</i>
8	<i>Церий (Ce)</i>	<i>0,0025</i>	<i>0,00049</i>	<i>0,0016</i>	<i>0,023</i>	<i>0,013</i>
9	<i>Празеодим (Pr)</i>	<i>0,00027</i>	<i>0,000056</i>	<i>0,00020</i>	<i>0,0026</i>	<i>0,0014</i>
10	<i>Неодим (Nd)</i>	<i>0,0013</i>	<i>0,00029</i>	<i>0,0010</i>	<i>0,013</i>	<i>0,0079</i>
11	<i>Самарий (Sm)</i>	<i>0,00021</i>	<i>0,000048</i>	<i>0,00015</i>	<i>0,0023</i>	<i>0,0014</i>
12	<i>Европий (Eu)</i>	<i>0,000060</i>	<i>0,0000098</i>	<i>0,000019</i>	<i>0,00048</i>	<i>0,00033</i>
13	<i>Гадолиний (Gd)</i>	<i>0,00026</i>	<i>0,000054</i>	<i>0,00017</i>	<i>0,0022</i>	<i>0,0013</i>
14	<i>Тербий (Tb)</i>	<i>0,000038</i>	<i>0,0000071</i>	<i>0,000017</i>	<i>0,00029</i>	<i>0,00017</i>
15	<i>Диспрозий (Dy)</i>	<i>0,00019</i>	<i>0,000049</i>	<i>0,000093</i>	<i>0,0016</i>	<i>0,00080</i>
16	<i>Гольмий (Ho)</i>	<i>0,000032</i>	<i>0,000013</i>	<i>0,000020</i>	<i>0,00031</i>	<i>0,00017</i>
17	<i>Эрбий (Er)</i>	<i>0,000095</i>	<i>0,000031</i>	<i>0,000061</i>	<i>0,00086</i>	<i>0,00056</i>

18	<i>Тулий (Tm)</i>	<i>0,000016</i>	<i>0,0000047</i>	<i>0,0000093</i>	<i>0,00011</i>	<i>0,000076</i>
19	<i>Иттербий (Yb)</i>	<i>0,00012</i>	<i>0,000034</i>	<i>0,000087</i>	<i>0,00073</i>	<i>0,00053</i>
20	<i>Лютеций (Lu)</i>	<i>0,000016</i>	<i>0,0000052</i>	<i>0,000011</i>	<i>0,00010</i>	<i>0,000064</i>
21	Висмут (Bi)	0,0000099	0,0000038	0,0000050	0,000062	0,000060
22	Торий (Th)	0,00020	0,000056	0,00027	0,0022	0,0015
23	Уран (U)	0,000044	0,000023	0,000068	0,00034	0,00021

Исходя из данных табл. 5 – 8, можно увидеть распределение РЗМ после магнитной сепарации. Практически все редкоземельные металлы на 75 – 80 % концентрируются в немагнитной фракции. Например, содержание неодима в исходной пробе 15 г/т, после магнитной сепарации магнитная фракция содержит 5,3 г/т, а немагнитная 13 г/т. Для самария содержание в объединенной пробе – 2,8 г/т; 0,95 и 2,3 г/т в магнитной и немагнитной фракциях соответственно.

Таблица 8 – Анализ объединенной пробы и ее магнитной и немагнитной фракций

№ п/п	Номер пробы лаборатории	Объединенная Проба ОФ	Объединенная проба	
			магнитной фракции ОМФ	немагнитной фракции ОНФ
Определяемая характеристика		Содержание, %		
1	<i>Иттрий (Y)</i>	<i>0,0061</i>	<i>0,0025</i>	<i>0,0055</i>
2	<i>Лантан (La)</i>	<i>0,0089</i>	<i>0,0036</i>	<i>0,0083</i>
3	<i>Церий (Ce)</i>	<i>0,025</i>	<i>0,0098</i>	<i>0,023</i>
4	<i>Празеодим (Pr)</i>	<i>0,0030</i>	<i>0,0011</i>	<i>0,0026</i>
5	<i>Неодим (Nd)</i>	<i>0,015</i>	<i>0,0053</i>	<i>0,013</i>
6	<i>Самарий (Sm)</i>	<i>0,0028</i>	<i>0,00095</i>	<i>0,0023</i>
7	<i>Европий (Eu)</i>	<i>0,00060</i>	<i>0,00023</i>	<i>0,00048</i>
8	<i>Гадолиний (Gd)</i>	<i>0,0026</i>	<i>0,0011</i>	<i>0,0022</i>
9	<i>Тербий (Tb)</i>	<i>0,00034</i>	<i>0,00015</i>	<i>0,00029</i>
10	<i>Диспрозий (Dy)</i>	<i>0,0017</i>	<i>0,00068</i>	<i>0,0016</i>
11	<i>Гольмий (Ho)</i>	<i>0,00030</i>	<i>0,00012</i>	<i>0,00031</i>
12	<i>Эрбий (Er)</i>	<i>0,00088</i>	<i>0,00036</i>	<i>0,00086</i>
13	<i>Тулий (Tm)</i>	<i>0,00012</i>	<i>0,000060</i>	<i>0,00011</i>
14	<i>Иттербий (Yb)</i>	<i>0,00082</i>	<i>0,00045</i>	<i>0,00073</i>
15	<i>Лютеций (Lu)</i>	<i>0,00011</i>	<i>0,000058</i>	<i>0,00010</i>

Заключение

Технология извлечения редкоземельных металлов возможна в двух вариантах.

Первый вариант разработан в ТОО «Иртышская редкоземельная компания» (IRESCO) и предполагает проведение следующих операций [4]:

- Сульфатизация с рудой, предварительно смешанной с раствором

9 моль/дм³ серной кислоты при соотношении Т:Ж = 1:0,36 и температуре 200 °С. Время сульфатизации 2 ч. Полученный РЗМ-содержащий сульфатный спек содержал, % (масс.): 48,7 SiO₂, 15,0 Al₂O₃, 5,18 Fe₂O₃ и 0,03051 ΣРЗМ.

- Водное выщелачивание измельченного сульфатного спек осуществляли при интенсивном перемешивании с включенной вращающейся мешалкой n = 500 об/мин и поддержании следующих условий: температура 90 °С; соотношение Т:Ж = 1:2,5; продолжительность – 4 ч. При оптимальных условиях водного выщелачивания получен кремнийсодержащий кек, % (масс.): 64 – 70 SiO₂; 12 – 15 Al₂O₃, 4 – 6 Fe₂O₃.

- Осаждение РЗМ-содержащего гидратного осадка проводили при температуре 50 °С и постоянном перемешивании полученного сульфатного раствора с добавлением раствора гидроксида натрия с концентрацией 310 г/дм³ до рН = 7. После окончания добавления раствора NaOH пульпа перемешивается в течение 2 ч. Полученный РЗМ-содержащий гидратный осадок, % (масс.): 0,16 ΣРЗМ, 29,3 Al₂O₃ и 13,9 Fe₂O₃ выщелачивали раствором гидроксида натрия при интенсивном перемешивании и заданных температуре и времени процесса.

- Получение оксалатных солей осуществляли при постоянном перемешивании и контактировании РЗМ-содержащего кека с раствором 2 моль/дм³ щавелевой кислоты H₂C₂O₄, температуре 90 °С, соотношении Т:Ж = 1:5 в течение 3 ч. Промывка обогащенного РЗМ продукта горячей водой, сушка и его прокаливании при температуре 900 °С в течение 2 ч с получением концентрата Σоксидов РЗМ.

Второй вариант разработан в Инженерном химико-технологическом центре «Русредмет»: разработана сорбционно-экстракционная технология попутного извлечения редкоземельных элементов непосредственно в производственном процессе предприятия ОАО «ФосАгро-Череповец», включает [11]:

- коллективную ионообменную сорбцию, которая осуществляется в каскаде пачуков с помощью катионообменной смолы. Процесс сорбции осуществляют в противотоке “ЭФК – смола”. Десорбция проводится также в противотоке раствором аммиачной селитры;

- вторая стадия процесса включает очистную и разделительную экстракцию из нитратных растворов с помощью ТБФ.

Для определения эффективности переработки комплексных железо-редкоземельных руд необходимо проведение лабораторных и полупромышленных испытаний по предлагаемым схемам.

В ходе работ необходимо предусмотреть следующий регламент:

- разработка технологий и строительство предприятий в рамках подпрограммы по трем составным частям:

- разработка технологий извлечения концентратов РЗ и РЗМ из различных сырьевых источников и их разделения;

- разработка технологий получения чистых и высокочистых индивидуальных редких и редкоземельных металлов и их соединений;

- разработка технологий получения материалов и высокотехнологичной продукции нового поколения на основе и с применением редких и редкоземельных металлов, в т.ч.:

а) в металлургии;

б) в производстве магнитов, в т.ч. тонкопленочных;

в) в производстве катализаторов для автомобильной промышленности;

г) в производстве фотолитографов, оптоэлектронных приборов, дисплейных органических светодиодов красного, зелёного и синего цветов свечения, керамического композиционного материала на основе тугоплавких соединений редких и редкоземельных металлов и др.

В результате выполнения программы должны быть созданы промышленные производства полного технологического цикла (от добычи сырья до производства конечной РМ- и РЗМ-содержащей продукции), при полном обеспечении потребностей создаваемых конечных производств по всей номенклатуре РЗМ в РФ [1 – 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ минерального сырья / Под ред. Ю.Н. Книпович и Ю.В. Морачевского. – Л.: ГНТИ, 1956. С. 731.

2. Бочевская Е.Г., Каршигина З.Б., Саргелова Э.А., Абишева З.С.

Технология комплексной переработки высококремнистой и труднообогатимой минеральной с получением концентрата РЗМ и высокодисперсного диоксида кремнияруды // Труды Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева г. – Алматы, Республика Казахстан, 2019.

3. Быховский Л.З., Ануфриева С.И., Тигунов Л.П. Реальные сырьевые источники редкоземельного сырья. // Тез. докл. конф. «Актуальные вопросы получения и применения РЗМ». – М.: ГИНЦВЕТМЕТ, 2014. С. 33–38.

4. Глущенко Ю.Г., Нечаев А.В., Поляков Е.Г., Левин Б.В. Выделение редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты в контексте мировых проблем производства и потребления. <https://docplayer.ru/57669898-Vydelenie-redkozemelnyh-elementov-iz-ekstrakcionnoy-fosfornoj-kisloty-v-kontekste-mirovyh-problem-ih-proizvodstva-i-potrebleniya.html>

5. Зайковский Ф.В. и др. В сб. Методы определения и анализа редких элементов. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 156.

6. Горюхин Е.Я. Материалы к изучению редких и рассеянных элементов на месторождениях бурых углей, железных руд и других полезных ископаемых в Томской области. Отчет о работах Томской ревизионной опробовательской партии в 1960 – 1961 гг.– Томск: ТомТФГИ, 1962.

7. Кассир А.М. Записка по результатам изучения вещественного состава и обогатимости пробы № 11 оолитовой железной руды Бакчарского месторождения. – Сталинск: ЗСГУ, 1959.

8. Корчемная Е.К. В сб. Методы определения и анализа редких элементов. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 141.

9. Найманбаев М., Бектурганов Н., Лохова Н., Балтабекова Ж. Технологии для редкоземельной индустрии // Горно-металлургическая промышленность. – 2015. – № 7. – С. 56–61.

10. Редкие элементы: рынок дает добро // Международный деловой журнал KAZAKHSTAN. Редакционный обзор. – 2013. – № 3. – С. 56–58.

11. Самсонов М.Ю., Семягин И.Н. Обзор мирового и российского рынка редкоземельных металлов. 2014. lib.ieie.su/docs/SamsonovObzorECO2014-2.pdf/ (дата обращения: 20.04.2014).

12. Черняев Е.В. Отчет по теме: Анализ и обобщение геологической, геофизической, гидрогеохимической информации и составление программы геологического изучения и развития минерально-сырьевой базы Томской области. В 6 т. – Томск: ТГФИ, 1997.
13. Brunisholz G., Cahen R. // *Helv. chim. Acta.* – 1956. – 39. – 324. – 2136.
14. Smart M. *Silicates and Silicas. Chemical Economics Handbook Marketing Research Report 766 - 4000 A*, 2001. – 126 p.
15. Flerke O.W. and etc. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim, Germany Wiley-VCH Verlag GmbH.8087, 2001. – 193 p.

МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669.046:662.61:66.971

В.В. Солоненко, Е.В. Протопопов, М.В. Темлянцев, Н.Ф. Якушевич,

Н.А. Чернышева

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОДУВКЕ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ ПОГРУЖНЫМ ГАЗОКИСЛОРОДНЫМ ФАКЕЛОМ

ФГБОУ ВО Сибирский государственный индустриальный университет,

г. Новокузнецк

Введение

Одним из перспективных направлений повышения эффективности кислородно-конвертерных процессов является продувка жидкой ванны факелами горения с использованием жидкого или газообразного топлива (рис. 1). Верхняя, верхне-боковая или встречная верхне-донная продувка конвертерной ванны позволяют обеспечить совмещение процессов рафинирования и подогрева металлошихты за счет тепла горения топлива и возможности воздействия факелами на окислительно-восстановительные процессы в ванне, влиять на показатели шлакообразования, а также процессы дымообразования и пылевыведения [1 – 7].

При рассмотрении возможных потерь металла [2, 8] при продувке конвертерной ванны следует различать процессы пылевыведения, связанные с выносом из конвертера отходящими газами капель металла, шлака и частиц сыпучих материалов, и дымовыведения при испарении веществ в высокотемпературных реакционных зонах с последующей частичной конденсацией паров в более «холодных» верхних горизонтах рабочего пространства. Интенсивное выделение бурого дыма по ходу продувки является существенной особенностью и недостатком процесса и в значительной степени зависит от температуры в реакционных зонах и интенсивности перемешивания ванны. Содержание пыли в зависимости от скорости потока отходящих газов (скорости обезуглероживания) и степени вспенивания шлако-металлической эмульсии может составлять 80 – 120 и даже 250 – 350 г/м³, а потери железа с

пылью могут достигать 0,4 – 1,2 % от массы металлозавалки. При этом потери металла с дымом при продувке кислородом обычно составляют 0,8 – 1,5 % [2].

В целом определенные на основании практических данных показатели свидетельствуют о довольно значительных потерях металла и снижении выхода жидкой стали при продувке ванны погружными струями, поэтому требуется их дополнительный учет и анализ.

Особенности процессов пыли и дымообразования

К основным причинам, вызывающим повышенный угар металла, можно отнести:

- дробление металла на капли за счет динамической энергии газовых струй с последующей эжекцией капель в струю;
- разбрызгивание и распыление металла пузырями СО при выходе на поверхность ванны с учетом энергии разрыва пленки пузыря;
- испарение металла в высокотемпературных реакционных зонах.

При определенных допущениях дробление металла на капли за счет динамической энергии струи можно представить как работу образования новой поверхности и выразить как

$$A = S\sigma, \quad (1)$$

где S – площадь поверхности раздела фаз, м^2 ; σ – удельное поверхностное натяжение, $\text{Дж}/\text{м}^2$ (например, для железоуглеродистых расплавов в зависимости от содержания углерода при $[C] = 1,0 \div 1,5 \%$ можно принять $\sigma = 1250 \cdot 10^4 \text{ мДж}/\text{м}^2$) [9].

В соответствии с данными работ В.И. Баптизманского и В.Б. Охотского [1, 10] на образование новой поверхности (то есть на дробление металла и эжекцию капель в газовые струи) расходуется чуть более 1,0 % динамической энергии струи на выходе из сопла.

Площадь поверхности раздела фаз

$$S = \frac{A}{\sigma} = \frac{0,01E_{O_2}}{\sigma}, \quad (2)$$

где E_{O_2} – динамическая энергия струи на выходе из сопла.

Если принять скорость истечения струи из сопел Лавала порядка 350 – 500 м/с, то при расходе 1 м³ кислорода может образоваться поверхность газ – металл – шлак 63 – 70 и даже 150 – 350 м² при высокой степени дробления расплава на капли [1].

По известному размеру пылевидных частиц можно определить их удельную поверхность [11]:

$$S_{\text{уд}} = \frac{6}{\rho_p^{Me} d}, \quad (3)$$

где ρ_p^{Me} – плотность распыленного металла; d – диаметр частиц.

При среднем размере пылевидных частиц 10 – 25 мкм их удельная поверхность составит 32 – 60 м²/г. Таким образом, 1 м³ вдуваемого кислорода за счет распыления металла способен образовать 1,10 – 1,82 г и более пыли.

В результате механического распыления металла газовыми струями выходящие из реакционных зон отходящие газы содержат значительное количество пыли, в особенности в начальный период продувки конвертерной ванны (в условиях отсутствия слоя вспененного шлака) и в период интенсивного газовыделения при высокой скорости окисления углерода. Кроме того, в начале продувки при высоком содержании углерода поверхностное натяжение металла уменьшается, что способствует увеличению вновь образованной поверхности, то есть фактического количества уносимой пыли.

В таких условиях скорость истечения газовых струй, формирующихся в дутьевых устройствах, может значительно превышать звуковую, что резко повышает динамическую энергию струи [1, 3, 10, 12]. В результате количество металла, распыленного газовыми струями, может достигать 5 – 10 г/м³ отходящих газов, а при «сворачивании» шлака даже 250 – 350 г/м³ [1]. Борьба с этим источником пылеобразования весьма трудно, так как практически во всех процессах, где применяется продувка ванны, стремятся к увеличению скорости окислительных струй, поскольку это увеличивает степень усвоения кислорода и улучшает перемешивание ванны.

Единственным реальным мероприятием, уменьшающим распыление металла струей, является заглубление ее в ванну. В этом случае образовавшаяся

пыль может быть снова поглощена ванной, а значительная часть энергии струй будет использована на образование межфазной поверхности между металлом, шлаком и газом и на создание циркуляционных зон. Примером снижения пылевыведения при заглублении реакционных зон в ванну может служить кислородно-конвертерный процесс с донным дутьем [13 – 15].

При продувке ванны факелом разбрызгивание металла сильнее, чем при кислородной продувке вследствие вдувания большего объема газов. Возможным известным решением проблемы снижения брызгообразования может быть дополнительное перемешивание ванны при использовании механического вращения продувочных устройств или самого агрегата [1– 4, 13 – 15]. В этом случае объем реакционной зоны увеличивается в три – пять раз по сравнению с обычной продувкой, а энергия струи расходуется не на разбрызгивание расплава, а на дополнительное образование межфазной поверхности.

Представляет интерес оценка процесса распыления металла за счет всплывающих пузырей оксида углерода {CO}, который определяется прежде всего скоростью их подъема на поверхность ванны. По данным В.И. Явойского [9] скорость всплывания пузырей U_0 может быть определена по зависимости

$$U = U_0 + \frac{m_{O_2}^2 \omega_{O_2}^2}{2mg} + \frac{V_{CO} \rho h}{m}, \quad (4)$$

где U_0 – конвективная скорость металла, вызванная разностью удельных масс (эта скорость имеет малую величину и ею можно пренебречь); m_{O_2} – масса вдуваемого кислорода, кг/с; ω_{O_2} – скорость истечения кислорода из сопла, м/с; m – масса металла, вовлекаемого струей в циркуляцию, кг; V_{CO} – скорость образования CO, м³/с; ρ – плотность металла, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; h – высота ванны в спокойном состоянии, м.

Расчеты показывают, что для различных вариантов конвертерного процесса величина U не будет превышать 5 м/с. Отсюда следует, что энергия, развиваемая пузырями при всплывании, в сотни раз меньше энергии струи вдуваемого кислорода. Следовательно можно предположить, что пузыри оксида углерода {CO} образуют во столько же раз меньше пыли.

Следует обратить внимание на то, что пузырь по мере всплывания под действием сил сопротивления приобретает «грибовидную» форму, а скорость всплывания пузыря такой формы определяется по эмпирическому уравнению

$$U = \frac{R^{0,4} \sigma_{Me}}{k \rho_{Me}^{0,056} \eta_{Me}^{0,5}}, \quad (5)$$

где R – максимальный радиус пузыря, м; k – эмпирическая постоянная; ρ_{Me} , σ_{Me} и η_{Me} – плотность, поверхностное натяжение и динамическая вязкость металла.

На интенсивное образование пыли при разрушении оболочек всплывающих пузырей также указывает ряд исследователей [16, 17]. К основным доказательствам можно отнести известный факт повышения пылеобразования при увеличении скорости обезуглероживания расплава и, в целом, зависимости количества образовавшейся пыли от содержания углерода в ванне. При этом энергия разрыва пузырей зависит от парциального давления газа внутри них и в соответствии с данными работы [18] в начальный момент при зарождении пузырька может составлять 10^7 Н/м². В процессе всплывания пузыря к поверхности ванны и, соответственно, его росте давление в нем снижается и определяется давлением окружающей среды и поверхностным натяжением жидкой фазы. В соответствии с работами [9, 19] величина поверхностного натяжения между газом и шлаком, например, для системы FeO – CaO – SiO₂ находится в диапазоне 500 – 600 мН/м²; для металла поверхностное натяжение значительно больше, для расплава с содержанием [C] ≈ 1 % может составлять 1250 мН/м². Таким образом, пузыри {CO} при выходе на поверхность ванны всегда окружены пленкой металла; такие пузыри называют «корольками». Количество вынесенного металла в данном случае в виде корольков зависит от суммарной величины поверхности пузырей {CO} и может достигать 8 – 11 % от массы шлака [1, 20, 21]. При этом металлическая пыль, выносимая из зоны продувки, содержит до 60 – 65 % чистого железа.

Образовавшиеся при разрыве пузыря частицы пыли могут выноситься отходящими газами либо обратно оседать в ванну. Интенсивность их возврата с достаточной степенью точности можно определить в соответствии с теорией

кипящего слоя [22]. При всех прочих равных условиях эта интенсивность пропорциональна разности плотностей частицы и отходящего газа

$$\xi \equiv \sqrt{\rho_{\text{м}} - \rho_{\text{отх}}}, \quad (6)$$

где ξ – интенсивность возврата брызг в расплав; $\rho_{\text{м}}$ и $\rho_{\text{отх}}$ – плотность выносимой частицы и отходящего газа.

При этом масса частицы зависит от того, окислена она или нет, что, в свою очередь, определяется составом газовой фазы над расплавом. При достаточно высоких температуре и окислительном потенциале газовой фазы, очевидно, протекают реакции окисления частиц с дополнительным пылевыносом.

В соответствии с зависимостью (6) нежелательно допускать окисления распыленных частиц металла: это будет в дальнейшем препятствовать оседанию их в ванну и приводить к сокращению выноса пыли. Для достижения этой цели необходимо стремиться уменьшать окислительный потенциал среды, в которой разрываются пузыри: реализовать можно, например, при разбавлении дутья различными видами топлива или инертным газом (азотом, аргоном). Ранее полученная информация [23] по продувке металла кислородом при разбавлении азотом показывает, что этот метод снижает пылевыделение пропорционально количеству введенного азота для разбавления газового потока. Однако такие методы продувки не получили широкого распространения, так как при этом уменьшаются скорости окислительных реакций, снижается температура ванны [8].

В таком случае более приемлемым способом продувки является добавка топлива к кислороду, которая наряду с уменьшением пылевыделения дополнительно вносит некоторое количество тепла в ванну. Выполненные расчеты условий равновесия между металлом и газовой фазой, состоящей из стехиометрической смеси кислорода и метана, показывают, что газы, выходящие из реакционной зоны, содержат значительное количество CO и H₂, в присутствии которых образование оксидов железа невозможно. Поэтому очевидно, что дисперсные частицы металла в этих условиях будут в большей степени оседать в ванну и меньше выноситься отходящими газами.

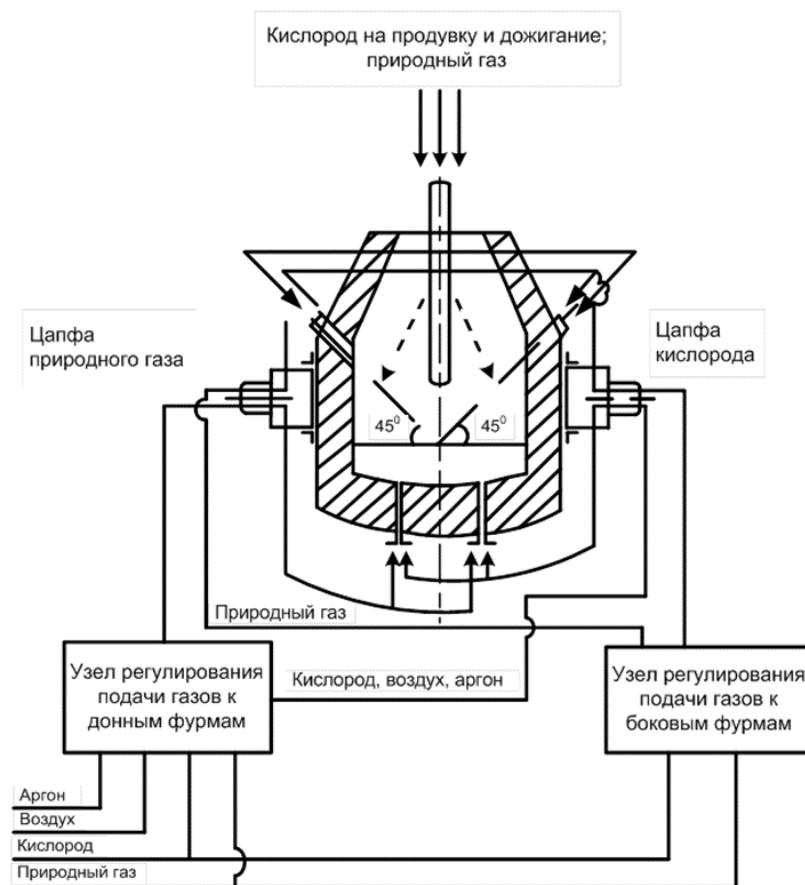


Рисунок 1 – Схема кислородно-топливного конвертера для выплавки стали

Добавка топлива к кислороду уменьшает скорость обезуглероживания, что также способствует уменьшению количества пыли, образующейся при разрыве и дроблении пленок металла газовыми пузырями.

Значительное влияние на температуру реакционной зоны оказывает испарение образующихся оксидов железа и оксидов марганца. При этом расход тепла, связанный с испарением, ограничивает и тормозит значительное повышение температуры реакционной зоны, а предельные значения температуры, очевидно, определяются условиями кипения железа (2735 °С). Многочисленными экспериментальными исследованиями установлено [1, 10, 24], что при продувке расплава технически чистым кислородом температура в области зоны продувки составляет 2100 – 2700 °С, а перегрев по отношению к объему продуваемой ванны составляет 700 – 900 °С. Такой перегрев зависит от содержания углерода в металле, скорости обезуглероживания, интенсивности продувки и поэтому изменяется по ходу конвертерной плавки.

При учете фактора испарения железа в реакционной зоне необходимо учитывать, что с повышением температуры упругость пара железа растет по экспоненциальному закону в соответствии с уравнением [1]

$$\lg P_{\text{Fe}} = \frac{18500}{T} + 8,025; \quad (7)$$

здесь P_{Fe} – упругость пара железа, мм рт. ст.

Выполненные по аналогии с работами [9, 19] расчеты показывают, что при таком перегреве реакционной зоны величина P_{Fe} не превышает 0,04 атм, образуется 4 – 8 г/м³ пыли; то есть испарение приводит к значительному дополнительному пылевыносу.

Одновременно можно констатировать, что этот источник пылеобразования по своему значению близок к потерям за счет динамического воздействия струи и действию разрывающихся газовых пузырей, то есть не является, как это часто полагают, доминирующим. Этим можно объяснить и тот факт, что попытки устранить дымообразование вдуванием в реакционную зону охладителей хотя и уменьшают его значительно, но кардинально проблему не решают [2, 16, 21]. Поэтому очевидно, что испарение в реакционной зоне не играет определяющей роли в процессе пылеобразования при таких вариантах продувки конвертерной ванны. В качестве подтверждения можно отметить известный факт уменьшения количества пыли в отходящих газах кислородных конвертеров на заключительном этапе продувки (в конце плавки), несмотря на то, что температура ванны в этот период значительно выше, чем в начале процесса. В то же время необходимо отметить, что испарение все же играет определенную роль в пылеобразовании, поэтому использование различных вариантов охлаждения реакционной зоны снижает дымовыделение и пылевынос при выплавке стали.

Надежным и достаточно легко реализуемым способом для снижения пылевыноса от испарения железа в реакционной зоне является добавка газообразного или жидкого топлива к кислородному потоку [1 – 3]. Такой вариант продувки одновременно уменьшает влияние и многих других негативных факторов, вызывающих образование пыли. В данном случае

реализация совместно с кислородно-топливной продувкой в конвертере позволяет параллельно увеличить приход тепла в ванну.

Для оценки влияния изменения температуры (ΔT) реакционной зоны при продувке ванны высокотемпературным метаноокислородным факелом использовали сопоставляемые варианты технологии продувки газокислородной смесью на примере углеродистой и легированной стали для прокатных валков 7Х2СМ2Ф.

В такой постановке задачи температура металла на условной границе реакционной зоны зависит от количества тепла Q , переданного металлу из зоны продувки, и размеров образующейся реакционной зоны.

Процесс отвода тепла из реакционной зоны в объем ванны можно описать уравнением Ньютона

$$Q = \alpha(T_{p.z} - T_m) F_{p.z}, \quad (8)$$

где α – коэффициент теплоотдачи (зависит от скорости циркуляции металла и его теплофизических свойств (вязкости, теплопроводности, удельной теплоемкости и т.д.); $T_{p.z}$ и T_m – температура реакционной зоны и металла, К; $F_{p.z}$ – площадь реакционной зоны.

Для расчета температуры реакционной зоны с учетом гидродинамических и тепловых явлений у границ зоны воспользовались теорией теплового пограничного слоя (законом Фурье).

При допущении, что для обоих вариантов технологии продувки углеродистой и легированной стали коэффициенты теплоотдачи α равны, то уравнением (8) можно воспользоваться для сравнения основных тепловых процессов в реакционной зоне. Тогда удельный тепловой поток q из реакционной зоны в объем конвертерной ванны можно определить по зависимости

$$q = \frac{Q}{F_{p.z}} \alpha \Delta T \quad \text{или} \quad \Delta T = \frac{Q}{\alpha F_{p.z}}, \quad (9)$$

где $\Delta T = T_{p.z} - T_m$.

Приняв $\alpha_1 = \alpha_2$, можно записать

$$\frac{\Delta T_{\text{л}}}{\Delta T_{\text{у}}} = \frac{Q_{\text{л}} F_{\text{р.з}_1}}{F_{\text{р.з}_2} Q_{\text{у}}}, \quad (10)$$

где $\Delta T_{\text{л}}$ и $\Delta T_{\text{у}}$ – перегрев температуры реакционной зоны над усредненной в ванне для легированной и углеродистой сталей; $Q_{\text{л}}$ и $Q_{\text{у}}$ – тепловой эффект реакции окисления элементов ванны продуктами горения метана при продувке легированной и углеродистой стали; $F_{\text{р.з}_1}$ и $F_{\text{р.з}_2}$ – площадь реакционной зоны при производстве легированной (индекс 1) и углеродистой (индекс 2) стали.

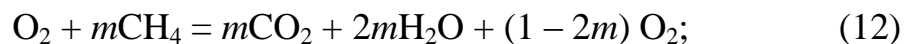
В соответствии с принятым допущением $F_{\text{р.з}_1} = F_{\text{р.з}_2}$ выражение (10) можно упростить

$$\frac{\Delta T_{\text{л}}}{\Delta T_{\text{у}}} = \frac{Q_{\text{л}}}{Q_{\text{у}}}. \quad (11)$$

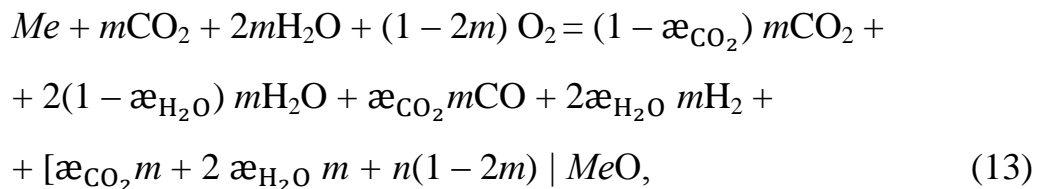
С точки зрения решения задачи уменьшения испарения металла в реакционной зоне выгодным является режим, при котором отношение $\frac{Q}{F_{\text{р.з}}}$ наименьшее.

В соответствии с законом действующих масс в реакционной зоне происходит преимущественное окисление железа. Пренебрегая диссоциацией молекул на ионы и атомы, для упрощения расчетов можно принять, что в реакционной зоне одновременно протекают:

– окисление метана кислородом



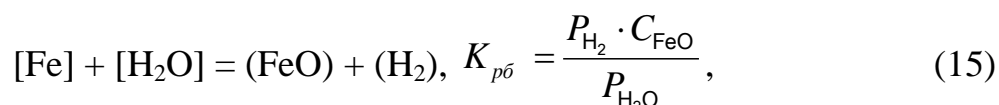
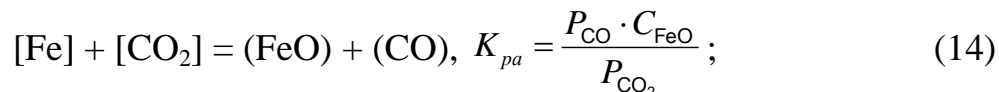
– окисление металла кислородом и продуктами горения (CO_2 и H_2O)



где m – количество молей метана CH_4 , приходящихся на 1 моль O_2 ; α_{CO_2} и $\alpha_{\text{H}_2\text{O}}$ – степень химического взаимодействия CO_2 и H_2O с элементами расплава; n – множитель, уравнивающий валентности соответствующего элемента и окислителя в правой и левой частях уравнения.

Величина m связана обратной зависимостью с коэффициентом расхода кислорода Λ в потоке. Тогда при добавке топлива ($m = 0 \div 0,5$) продуктами горения являются CO_2 и H_2O и избыточный кислород. При $m > 0,5$ в продуктах горения, кроме упомянутых компонентов, присутствуют CO и H_2 . При окислительной продувке рассмотрение тепловых эффектов реакций проводили только при $m = 0 \div 0,5$;

Реакции окисления железа продуктами горения и константы равновесия (K_p) этих реакций можно записать



где P – парциальное давление компонентов; C – концентрация компонентов.

Тогда завершенность протекания реакций (14) и (15) (то есть использование кислорода продуктов горения на окисление металла) будет равно $(1 - \alpha)$, соответственно, $P_{\text{CO}} = \alpha P$; $P_{\text{CO}_2} = (1 - \alpha)P$; $P_{\text{H}_2} = \alpha P$; $P_{\text{H}_2\text{O}} = (1 - \alpha)P$.

При стандартных условиях ($P = 1$ атм) и $\text{FeO} \leq 1$ % константы равновесия рассматриваемых реакций $K_p^{a,b} = \frac{\alpha}{1-\alpha}$, откуда $\alpha = \frac{K_p^{a,b}}{1+K_p^{a,b}}$, $\lg K_p^{a,b} = -\frac{\Delta Z_{a,b}^0}{4,575 \cdot T}$ (где $\Delta Z_{a,b}$ – изменение изобарно-изотермического потенциала реакций окисления железа продуктами горения). Эта величина для реакций (14) и (15) легко определяется с помощью табличных данных [25]. В зависимости от температуры изменение степени химического взаимодействия продуктов горения с углеродистой сталью представлено на рис. 2 (кривые 1 и 1'). В интервале температур 1800 – 2500 К средняя степень химического взаимодействия продуктов горения метана при продувке в погружном режиме составляет 60 – 75 %.

Добавка метана к кислородному дутью способна связывать в реакционной зоне большое количество кислорода, снижая в целом окислительную способность дутья. Это должно уменьшить угар металла по

сравнению с продувкой чистым кислородом. Следовательно, степень разложения в ванне CO_2 и H_2O является одной из основных характеристик газокислородного способа продувки, определяющих окислительные и нагревательные свойства дутья.

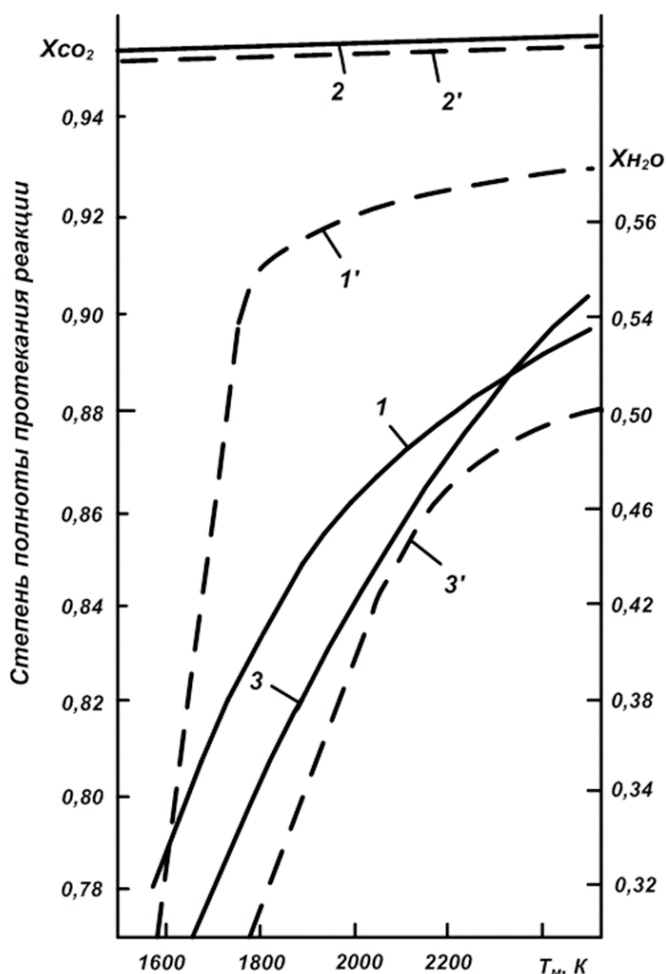
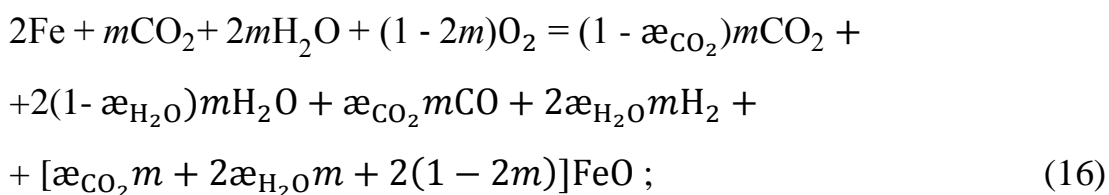
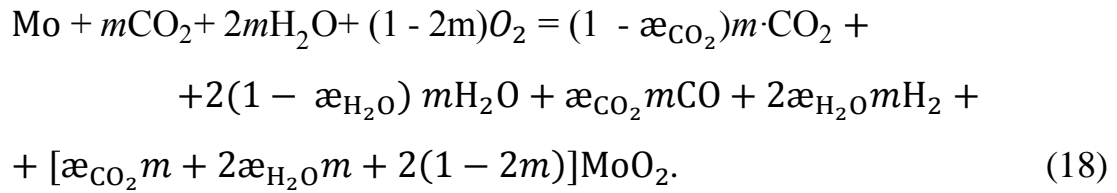
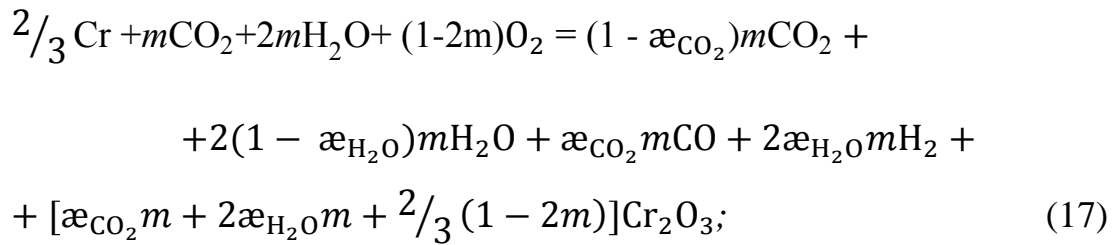


Рисунок 2 – Зависимость степени взаимодействия продуктов горения метана от температуры реакционной зоны при взаимодействии с элементами расплава углеродистой стали:

— — — CO_2 ; — — — — H_2O ; 1, 1' – Fe; 2, 2' – Cr; 3, 3' – Mo

При продувке стали для прокатных валков (содержащей более 90 % Fe, примерно 2 % Cr и 2 % Mo) реакции окисления этих элементов продуктами окисления метана и избыточным кислородом следующие:





Тепловой эффект реакций (12) и (13) составит

$$\begin{aligned}
Q = [\alpha_{\text{CO}_2}m + 2\alpha_{\text{H}_2\text{O}}m + n(1 - 2m)]Q_{\text{MeO}} + m(1 - \alpha_{\text{C}_2\text{O}})Q_{\text{CO}_2} + \\
+ \alpha_{\text{CO}_2}mQ_{\text{CO}_2} + 2(1 - \alpha_{\text{H}_2\text{O}})mQ_{\text{H}_2\text{O}} - mQ_{\text{CH}_4}. \quad (19)
\end{aligned}$$

В целом при определенных допущениях с учетом концентраций суммарный тепловой эффект реакции окисления легированной стали составит

$$Q_{\text{л}} = 0,9Q_{16} + 0,02Q_{17} + 0,02Q_{18} - mQ_{\text{CH}_4}, \quad (20)$$

где Q_{16}, Q_{17}, Q_{18} – тепловые эффекты реакций (16) – (18).

Расчет теплового эффекта сделан во всем диапазоне изменений α . При $T_{\text{Me}} = 1800$ К теплота образования оксидов FeO, Cr₂O₃, CO₂, CO, H₂O, MoO₂ и CH₄, отнесенная к одному молю, принята 54700, 270500, 94100, 28080, 60110, 130800 и 22 100 ккал/моль O₂.

Результаты расчетов по уравнениям (19) и (20) представлены на рис. 3.

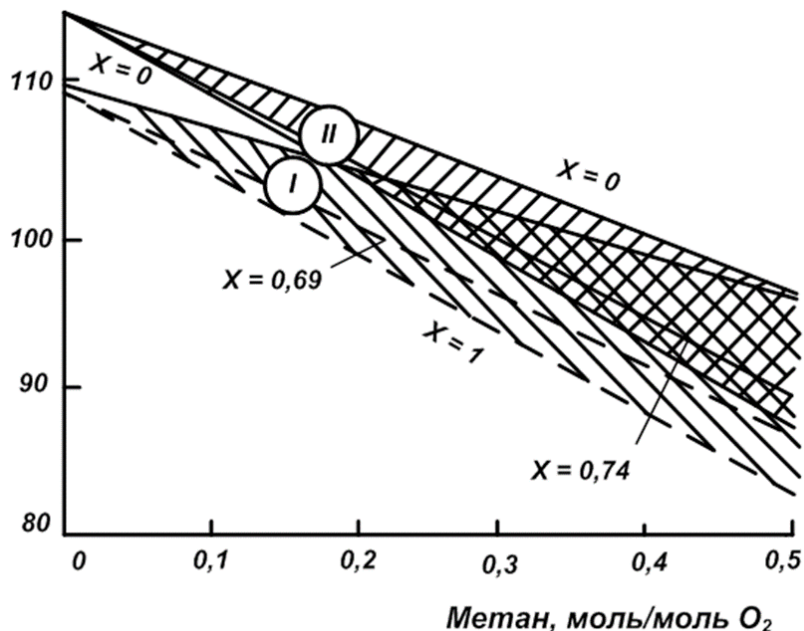


Рисунок 3 – Зависимость количества тепла, выделяющегося в реакционной зоне, от доли метана в кислородной струе при продувке углеродистой (зона I) и легированной (зона II) сталей при различных значениях α

По мере увеличения степени разбавления кислорода природным газом и, соответственно, увеличения степени разложения продуктов горения количество тепла, передаваемого от зоны продувки в объем металла, уменьшается в обоих случаях, причем при продувке легированной стали процесс идет более интенсивно. Это свидетельствует о том, что реакции образования оксидов хрома, молибдена и других элементов более эндотермичные, чем окисление железа до FeO. Кроме того, при продувке углеродистой стали при 1800 К среднее значение степени разложения продуктов горения $\alpha_{\text{ср}}$ составляет 0,69 (рис. 3), в то время как для легированной стали прежде всего из-за наличия хрома оно смещается ближе к единице ($\alpha_{\text{ср}} = 0,74$), что, в свою очередь, также способствует уменьшению количества тепла, выделяющегося в реакционной зоне. Изменение тепловых эффектов реакций окисления элементов ванны при $\alpha_{\text{ср}}$ также показано на рис. 3.

Чтобы по уравнению (11) оценить, как влияет добавка природного газа на величину $\Delta T_{\text{л}}$, необходимо знать значения Q_y и ΔT_y , для определения которых можно использовать данные работы [25] (рис. 4, кривая I).

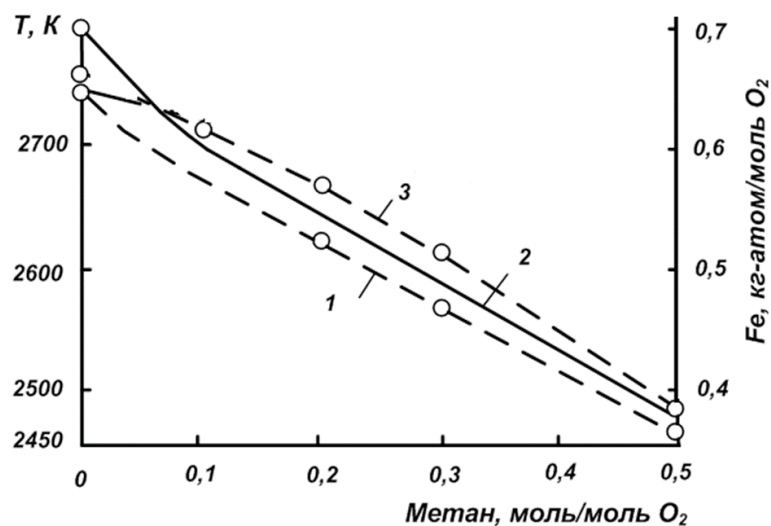


Рисунок 4 – Влияние добавки метана к кислородному потоку на температуру в реакционной зоне углеродистой стали (1), легированной стали (2) и на испарение железа (3)

Если конкретные значения ΔT_y , Q_y , Q_l (рис. 3, 4) подставить в уравнение (11), то можно вычислить значение ΔT_r . Принимая температуру ванны 1800 K и суммируя с ней ΔT_r , можно определить теоретическую температуру в реакционной зоне и влияние на нее добавки метана при продувке легированной стали погружным газокислородным факелом (рис. 4, кривая 2). По мере увеличения доли метана температура в реакционной зоне снижается, и, соответственно, уменьшается испарение железа в ней. Как установлено, оптимальные условия продувки легированной стали газокислородным факелом достигаются при коэффициенте расхода кислорода $\Lambda = 1,8 \div 2,0$ ($m \leq 0,278$). В этом случае температура в реакционной зоне (по сравнению с продувкой чистым кислородом) снижается на 200 – 210 °С, что также уменьшает испарение железа в 1,3 раза (рис. 4, кривая 3).

Уменьшение количества тепла, поступающего в объем ванны из реакционной зоны, при увеличении доли разбавления кислорода природным газом не обязательно приводит к снижению скорости нагрева ванны в целом. Объясняется это тем, что взаимодействие металла с продуктами полного горения газа (CO₂ и H₂O) приводит к выделению в ванне дополнительного тепла, величину которого можно оценить с помощью теплового эффекта реакции окисления углерода продуктами горения и избыточным кислородом:

$$\begin{aligned}
& m\text{CH}_4 + \text{O}_2[2(1 - 2m) + \alpha m + 2\alpha_{\text{H}_2\text{O}}m] [\text{C}] = \\
& = [2\alpha_{\text{H}_2\text{O}}m + 2\alpha_{\text{CO}_2}m + 2(1 - 2m)] \text{CO}_2 + (1 - \alpha_{\text{CO}_2})m\text{CO}_2 + \\
& \quad + 2(1 - \alpha_{\text{H}_2\text{O}})m\text{H}_2\text{O} + 2\alpha_{\text{H}_2\text{O}}m\text{H}_2
\end{aligned} \tag{21}$$

Тепловой эффект реакции (21), рассчитанный на основании закона Гесса при допущениях, что $\alpha_{\text{CO}_2} = \alpha_{\text{H}_2\text{O}} = \alpha$, а температура конечных продуктов реакции равна температуре ванны ($T_{Me} = 1800 \text{ K}$), составит

$$Q_{\Sigma} = 56160 + 84070m - 92070\alpha_m. \tag{22}$$

Тогда количество тепла, усвоенного ванной, определяется как разность между суммарным теплом Q_{Σ} и теплом, теряемым с отходящими из агрегата газами

$$Q_{\text{усв}} = Q_{\Sigma} - Q_{\text{отх}}$$

где $Q_{\text{отх}} = V_{\Gamma}C_{\Gamma}T_{Me}$; $C_{\Gamma} = C_{\Sigma} = \sum c_j n_j$ – удельная теплоемкость конвертерного газа, представляющего собой смесь нескольких газов; c_j – удельная теплоемкость каждого газа в смеси, вычисленная при температуре $T_{\text{отх.Г}}$; n – число компонентов газа в смеси.

При определении количества тепла, теряемого с отходящими газами $Q_{\text{отх}}$, объем отходящих газов $V_{\text{отх}}$ рассчитывается, а их теплоемкость C_{Γ} может быть принята в соответствии с данными работы [25]. Как видно (рис. 5), количество тепла, усвоенного ванной от реакции окисления углерода Q_y , при малых значениях степени разложения продуктов горения ($\alpha_{\text{ср}}$ менее 0,6) возрастает по мере увеличения доли природного газа в кислородном потоке, что подтверждают и другие экспериментальные данные [26]. Значению $\alpha > 0,7$ соответствует меньшая величина Q_y , а при $\alpha = 1,0$ и $m > 0,45$ ванна даже охлаждается, так как при полной диссоциации продуктов горения реакция окисления углерода будет идти с эндотермическим эффектом. В целом, в соответствии с выражением (21) окислительная способность газокислородного дутья может быть описана выражением $[2(1 - 2m) + \alpha_{\text{CO}_2}m + 2\alpha_{\text{H}_2\text{O}}m][\text{C}\%]$.

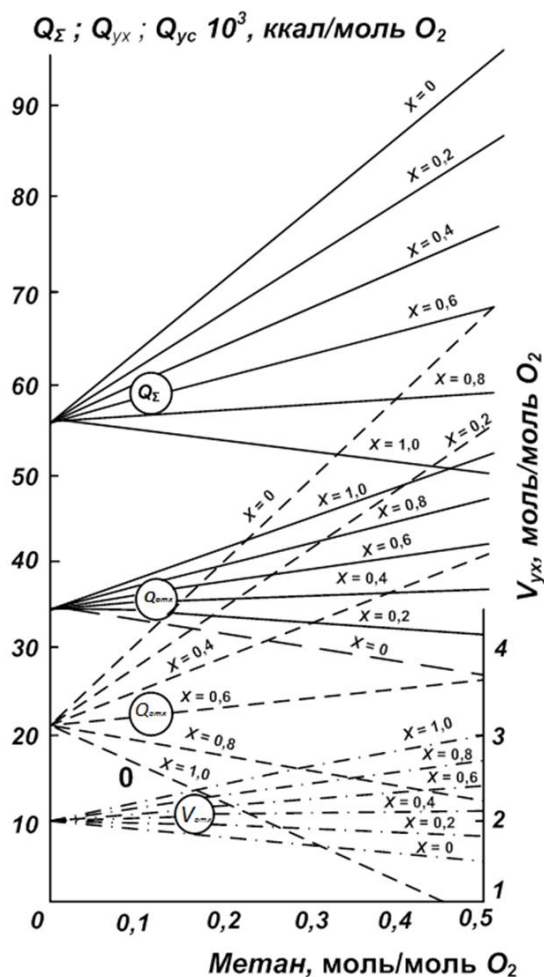


Рисунок 5 – Изменение суммарного Q_{Σ} , теряемого $Q_{отх}$ с отходящими газами и усвоенного $Q_{у}$ количества тепла и объема отходящих газов $V_{отх}$ в зависимости от добавки метана к кислороду при продувке

Окислительную способность такого факела можно изменять в самом широком диапазоне, при этом решать различные технологические задачи процесса.

Выводы

Добавка топлива в кислородные струи и реализация газо-кислородной продувки является эффективным способом уменьшения пылеобразования в конвертерной плавке. Такое техническое решение позволяет снижать температуру реакционной зоны и, соответственно, уменьшает количество выделяемого дыма, изменяет характер окисления распыленных капель металла, способствует коагуляции частиц и возвращению их в ванну. Одновременно улучшается тепловой баланс процесса. В то же время добавка топлива к дутью в целом не позволяет снизить пылевыведение до таких пределов, чтобы можно

было отказаться от использования эффективных систем газоочистки. Для уменьшения капитальных и эксплуатационных затрат системы газоочистки необходимо снижать содержание пыли в отходящих газах, применяя различные технологические способы уменьшения пылеобразования в процессе продувки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баптизманский В.И., Меджибожский М.Я., Охотский В.Б. Конвертерные процессы производства стали. – Киев-Донецк: Вища школа, 1984. – 343 с.

2. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / В. Колпаков, Р.В. Старов, В.В. Смоктий и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 464 с.

3. Баптизманский М.И., Бойченко Б.М., Черевко В.П. Тепловая работа кислородных конвертеров. – М.: Металлургия, 1988. – 174 с.

4. Li M., Li L., Zhang B., Li Q., Wu W., Zou Z. Numerical Analysis of the Particle-Induced Effect on Gas Flow in a Supersonic Powder-Laden Oxygen Jet // Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science. – 2020. Vol. 51. – No. 4. – P. 1718–1730.

<http://doi.org/10.1007/s11663-020-01855-3>

5. Ashrit S., Sarkar S., Chatti R.V., Sarkar C., Sarkar S. Nonmetallic LD slag fines – opportunities by invoking chemistry // Ironmaking and Steelmaking. – 2020. – Vol. 47. – No. 8. – P. 903–907. <http://doi.org/10.1080/03019233.2019.1641679>

6. Wang B., Shen S., Ruan Y., Cheng S., Peng W., Zhang J. Simulation of Gas-Liquid Two-Phase Flow in Metallurgical Process // Jinshu Xuebao/Acta Metallurgica Sinica. – 2020. – Vol. 56. – No. 4. – P. 619–632.

<http://doi:10.11900/0412.1961.2019.00385>

7. Yao L., Zhu R., Tang Y., Wei G., Dong K. Effect of furnace gas composition on characteristics of supersonic oxygen jets in the converter steelmaking process // Materials. – 2020. – Vol. 13. – No. 15. – Article 3353. <http://doi:10.3390/ma13153353>

8. Sharma S.K., Hlinka J.W., Kern D.W. The bath circulation, jet penetration and high-temperature reaction zone in BOF steelmaking // *Steelmaking Proceedings*. – 1977. – Vol. 60. – P. 181–197.
9. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. – М.: *Металлургия*, 1969. – 467 с.
10. Охотский В. Б. Физико-химическая механика сталеплавильных процессов. – М.: *Металлургия*, 1993. – 151 с.
11. Федорченко И.М., Андриевский С.А. Основы порошковой металлургии. – Киев: Изд-во АН УССР, 1963. – 420 с.
12. Barella S., Mapelli C., Mombelli D., Gruttadauria A., Laghi E., Ancona V., Valentino G. Model for the final decarburisation of the steel bath through a self-bubbling effect // *Ironmaking and Steelmaking*. – 2019. – Vol. 46. – No. 8. – P. 721–724. <http://doi.org/10.1080/03019233.2017.1405179>
13. Q-BOP process – after eleven years // *J. Metals*. – 1973. – Vol. 25. – No. 3. – P. 33–41.
14. Li W., Zhu R., Feng C., Wei G., Han B. Influence of Carrier Gas of Converter Oxygen Lance on Smooth Distribution of O₂–CO₂–CaO Mixed Jet // *Transactions of the Indian Institute of Metals*. – 2020. – Vol. 73. – No. 12. – P. 3027–3035. <http://doi: 10.1007/s12666-020-02105-5>
15. Osani H., Ohmiya S. Total Hot Metals Pretreatment and BOF Operation Practice for High Purity Steelmaking. – In book: 1 EOS Congress. Düsseldorf, 1993. P. 41–46.
16. Jamamoto Z. Production and Technology of Iron and Steel Japan During 1993 // *ISIJ International*. – 1994. – Vol. 34. – No. 4. – P. 229–312. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.34.299>
17. Somways N.L. Development in the North-American Iron and Steel Industry // *Iron and Steel Engineering*. – 1994. – Vol. 71. – No. 2. – P. 1–20.
18. Филиппов С.И., Кольцов А.Т. Распределение парциального давления кислорода вдоль многофазного дутьевого потока кислородного конвертера // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1979. – № 9. – С. 33–36.

19. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. – Киев-Донецк: Вища школа, 1979. – 277 с.
20. Протопопов Е.В., Соломон Г.М., Веревкин Г.И. Состояние шлакометаллической эмульсии и изменения физико-химических характеристик по ходу плавки в кислородном конвертере // Известия вузов. Черная металлургия. – 1995. – № 8. – С. 25–27.
21. Goodman N. Slag splashing of BOF converters // Iron and Steel Inst. – 1996. No. XXX. – P. 24–33.
22. Diepmann D., Gharib M. The role of streamwise vorticity in the hear-field entrainment of round jets // J. Fluid Mechanics. – 1992. – Vol. 245. – P. 643–668.
23. Протопопов Е.В., Айзатулов Р.С., Чернятевич А.Г. Технологические аспекты комбинированной подачи нейтрального газа в конвертерную ванну. – В кн.: Тр. IV Международного конгресса сталеплавильщиков. – М.: Черметинформация, 1997. С. 104–107.
24. Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Юдин С.В. Исследование химических и температурных градиентов в конвертерной ванне с использованием высокотемпературного моделирования // Известия вузов. Черная металлургия. – 1997. – № 10. – С. 20–24.
25. Лушка А.И. Основы химической термодинамики и кинетики химических реакций. – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.
26. Продукты сгорания природного газа при высоких температурах / И.Н. Карп, Б.С. Сорока, Л.Н. Дашевский, Д. Семернина. – Киев: Техника, 1967. – 381 с.

Е.А. Пинаев¹, М.В. Темлянец², Е.Н. Темлянцева², Н.И. Кувшинникова²

**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ЧУГУННЫХ СЕКЦИЙ ГАЗОСБОРНЫХ
КОЛОКОЛОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ЭКОСОДЕРБЕРГ
НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

¹*АО «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод», г. Красноярск*

²*ФГБОУ ВО Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Реализация на Красноярском алюминиевом заводе мероприятий по повышению эффективности работы газосборного колокола (ГСК) [1] привела к существенному изменению условий службы (в частности, к повышению температуры) чугунных секций, входящих в его конструкцию и интенсификации коррозионного воздействия высокотемпературных электролизных газов [2].

Широкое распространение для предотвращения высокотемпературного окисления (коррозии) металлов и сплавов получили защитные покрытия [3 – 20]. Анализ составов и свойств различных покрытий для защиты металлов и сплавов от высокотемпературного окисления, а также опыта их применения в металлургии показывает, что покрытия можно разделить на две группы.

Первая группа – относительно тугоплавкие покрытия, которые во всем температурном интервале защиты находятся в твердом состоянии и представляют собой непроницаемый (или слабопроницаемый) барьер для газов-окислителей. Вторая группа – относительно легкоплавкие покрытия на основе стекол, которые при разогреве размягчаются и переходят в жидкое (вязкое) состояние. При этом относительно высокая вязкость покрытия должна сохраняться в широком температурном интервале службы изделия, иначе покрытие начнет стекать с вертикальных участков поверхности, его защитные свойства будут нарушены. Вязкие покрытия практически не чувствительны к растрескиванию от температурных напряжений при колебаниях температур и значительном отличии коэффициента линейного расширения металла и покрытия.

Основные требования к покрытиям для защиты металлов и сплавов (с ориентацией на чугунные секции ГСК) от высокотемпературной газовой коррозии:

- высокие защитные свойства;
- отсутствие в составе редких, дорогостоящих компонентов;
- высокая адгезия, прочность сцепления с защищаемой поверхностью при нанесении и эксплуатации;
- способность затвердевать и высыхать в атмосфере окружающего воздуха;
- химически не взаимодействовать (не разрушать) защищаемую поверхность;
- для условий службы ГСК актуальны высокие теплоизолирующие свойства (низкая степень черноты и коэффициент теплопроводности с целью снижения температуры разогрева секций);
- не токсичность и пожаробезопасность;
- не загрязнять расплав алюминия вредными примесями.

В работах [3, 4, 19] в качестве основного типа покрытий авторы рассматривают эмали, содержащие стекла, представляющие собой комбинации оксидов $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$. Для формирования защитных покрытий на поверхности секций ГСК по их мнению следует использовать лишь те компоненты, которые являются химически инертными к воздействию анодных газов. В связи с этим определена вероятность взаимодействия основных компонентов эмалей с главным источником коррозии – фтороводородом. Самым нестойким компонентом в составе известных эмалей в среде фтороводорода является оксид натрия. Так как Na_2O – обязательный элемент всех эмалей, их состав необходимо формировать так, чтобы оксид натрия был связан в устойчивое химическое соединение. В результате с применением методов физико-химического анализа в работах [3, 4] показано, что химически стойким соединением в среде анодных газов алюминиевого электролизера является альбит $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, образование которого происходит по реакции



Антикоррозионные покрытия на основе альбита более устойчивы к воздействию фтороводорода и серы, чем исходные оксиды [3, 4]. Более того, для повышения коррозионной стойкости эмалей и повышения адгезии покрытия к металлу предлагается в их состав вводить оксид титана TiO_2 [4, 19].

В работах [3, 4, 20] обоснован и разработан новый способ формирования защитных антикоррозионных покрытий непосредственно в процессе литья чугунных изделий. Он заключается в том, что на поверхность литейной формы, предварительно покрытую противопригарной графитовой краской, наносится слой керамической массы толщиной 4 – 5 мм. Затем форма заполняется расплавом чугуна, например, СЧ 25 при температуре 1350 °С. После заливки чугуна с течением времени керамический слой прогревается за счет теплопроводности от твердеющей отливки до температуры плавления и при охлаждении превращается в компактное эмалевое покрытие «пригар». Формирование покрытия завершается в ходе охлаждения вследствие спекания.

В развитие работ по созданию новых эффективных и технологичных покрытий выполнен ряд исследований. В частности, апробировано четыре покрытия. Выбор обоснован:

- желанием использовать готовые составы, имеющиеся в широкой продаже, например высокотемпературные герметики, клеи, мастики, обмазки и т.п., применяемые в теплоэнергетике и строительных технологиях;
- возможностью оперативного технологичного нанесения покрытия (например кистью, шпателем, пескоструйным аппаратом с использованием сжатого воздуха и т.п.) на готовые секции и другие металлические элементы газосборного колокола и электролизера, например пояс.

Покрытие № 1 содержит основу – бой силикатного стекла (оконного): крупная фракция (после дробления на щековой дробилке, менее 2 – 3 мм) 50 % масс.; мелкая фракция (после помола на щековом истирателе менее 0,5 мм) – 50 % масс. В качестве связующего использовали жидкое стекло. При площади внутренней поверхности чугунной секции ГСК 0,423 м² расход покрытия при толщине 5 – 6 мм составляет 2,6 кг силикатного стекла и 1 л жидкого стекла.

Консистенция покрытия пастообразная. Наносится покрытие шпателем. Сушка и твердение покрытия происходит в атмосферных условиях в течение 48 ч.

Покрытие № 2 представляет собой материал CALORYGEB (приложение Б) – огнеупорную мастику на основе щелочных силикатов и огнеупорных уплотнителей без асбеста, предназначенную для монтажа в том числе стальных и чугунных деталей, обладает термостойкостью до 1300 °С. При толщине покрытия 3 – 5 мм (покрытие наносится шпателем) расход составляет 1,8 кг на одну секцию.

Покрытие № 3 представляет собой материал LOCTITE 7257™.

Новые чугунные секции с покрытиями установлены в сборную конструкцию ГСК электролизера.

Демонтаж, осмотр и взвешивание секций произведены через 51 сут. (1,7 мес.) и через 205 сут. (6,8 мес.) эксплуатации (рис. 1). По результатам осмотра секций через 51 сут. эксплуатации необходимо отметить, что на внутренней поверхности всех секций присутствовали отложения электролита. На поверхности секции № 1 наблюдали капле- и пленкообразные образования, формирующиеся из покрытия на основе силикатного и жидкого стекла. При начале эксплуатации секции происходит разогрев покрытия до температур 500 – 600 °С, при этом силикатное стекло, представляющее аморфный материал, начинает размягчаться, его вязкость уменьшается и покрытие формирует на внутренней поверхности секции пленку, препятствующую проникновению агрессивных газов к поверхности чугуна. Повышение температуры секции приводит к дальнейшему снижению вязкости стекла. Для секций № 2 и 3 подобных пленко- и каплеобразных образований не обнаружено. Нанесенный на них защитный материал присутствовал не на всей внутренней поверхности. В процессе эксплуатации произошло его частичное разрушение и отслоение.

Результаты осмотра секций после 205 сут. эксплуатации (рис. 1) показывают, что на секции № 1 сохранились силикатные капле- и пленкообразные образования, однако их толщина и площадь меньше, чем при предыдущем осмотре. Секции № 2, 3 содержат остаточные следы нанесенных ранее покрытий. Для всех секций характерно отсутствие сильных локальных

коррозионных разрушений и сквозных прогаров. На внутренней поверхности присутствуют следы электролита и продуктов коррозии чугуна.



Рисунок 1 – Секции с покрытиями и композитные: после изготовления (а, в, е), осмотра 11.03.2020 г. (б, г, ж), 13.08.2020 г. (в, д, з):

1 – силикатное стекло и жидкое стекло; 2 – CALORYGEB; 3 – LOCTITE 7257™

Проведен анализ изменения массы секций в процессе эксплуатации. Потери массы после эксплуатации в течении 6,8 мес. для секций № 1, 2, 3, составили соответственно 1, 2, 6 кг. Перед взвешиванием поверхность секций очищалась от электролита и продуктов коррозии.

На рисунке 2 представлены данные по средней потере массы за 1 мес. эксплуатации и прогноз на 33 мес. эксплуатации при допущении, что коррозионное разрушение происходит по линейному закону. По данным работы [21] секции из чугуна марки СЧ18 имеют срок службы 10 мес. при потере массы 34 кг, а секций из кремнистого высокопрочного чугуна с шаровидным графитом срок службы 18 мес. при потере массы 30 кг (требуемая АО «РУСАЛ Красноярск» 33 мес.), соответственно для оценочных расчетов (с учетом локальной неравномерной коррозии) потерю массы в 25 – 30 кг можно

считать максимально допустимой, при которой секция сохраняет свои функции. Из рисунка 2 видно, что для секций № 1, 2, 3 по сравнению с контрольной секцией № 4 без покрытия присутствует эффект снижения интенсивности коррозии. В наибольшей степени он проявляется для покрытия № 1. Прогноз на 33 мес. показывает, что потери массы составят всего 3 кг, на втором месте по защитным свойствам идет покрытие № 2, потери массы составляют 6 кг.

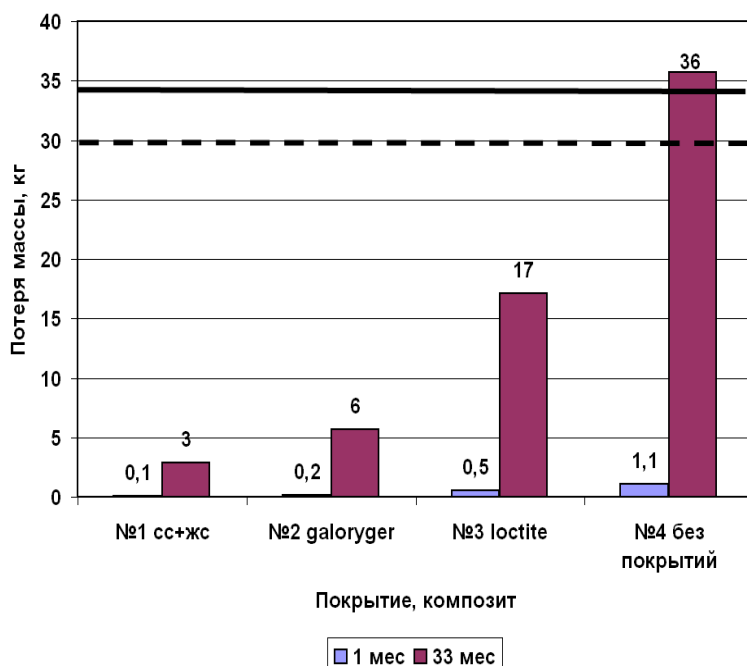


Рисунок 2 – Потери массы различных секций в процессе эксплуатации (— секции из чугуна СЧ18 срок службы 10 мес. при потере массы 34 кг,

— — секций из кремнистого высокопрочного чугуна с шаровидным графитом срок службы 18 мес. при потере массы 30 кг)

Покрытие № 3 оказывает некоторый защитный эффект, однако после 33 мес. эксплуатации потери массы секции составляют 17 кг.

Прогнозные оценки показывают, что для секции № 4 (без покрытия) потери массы в месяц достигают 1,1 кг, соответственно критическая потеря массы в 25 – 30 кг будет достигнута уже через 22,7 – 27,3 мес. эксплуатации, что приближается к значениям текущей средней стойкости секций из чугуна ВЧ 50 на уровне 22 мес.

Выводы

Наиболее высокие защитные свойства показывает покрытие № 1 на основе силикатного стекла и жидкого стекла, на втором месте по

эффективности покрытие № 2 материал CALORYGEB (огнеупорная мастика на основе щелочных силикатов и огнеупорных уплотнителей без асбеста), которые могут быть в первую очередь рекомендованы для промышленного применения, в целях обеспечения стойкости чугунных секций ГСК более 33 мес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов А.М., Пинаев А.А., Виноградов Д.А. и др. Повышение эффективности укрытия электролизеров Содерберга // *Металлургия цветных металлов*. – 2017. – № 1. – С. 19–30.

2. Пинаев Е.А., Темлянцев М.В., Темлянцева Е.Н., Кувшинникова Н.И. Исследование химического и фазового состава продуктов коррозии чугунных секций газосборного колокола алюминиевых электролизеров Экосодерберг // *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии*. – 2020. – № 43. – С. 144–151.

3. Шиманский А.Ф., Бабкин В.Г., Погодаев А.М. и др. Нанесение антикоррозионных покрытий на поверхность чугунных секций газосборного колокола // *Технология металлов*. – 2011. – № 1. – С. 14–18.

4. Шиманский И.А. Повышение коррозионной стойкости литых чугунных изделий в условиях высокотемпературной газовой коррозии. Автореф. канд. дис. – Красноярск, 2012. – 22 с.

5. Аппин А.А. Температуроустойчивые неорганические покрытия. – Л.: Химия, 1967. – 239 с.

6. Свиринский Л.Д., Прасол Л.И., Брагина Л.Л., Неелова Г.В. В кн: *Защитные высокотемпературные покрытия*. – Л.: Наука, 1972. – 368 с.

7. *Защитные покрытия на металлах*. – Киев: Наукова думка, 1970. – 276 с.

8. *Стеклоэмаль и эмалирование металлов* / Под ред. В.Е. Горбатенко. – Новочеркасск: изд. НПИ им. Орджоникидзе, 1974. – 150 с.

9. Солнцев С.С., Туманов А.Т. *Защитные покрытия металлов при нагреве*. – М.: Машиностроение, 1976. – 240 с.

10. Солнцев С.С. *Защитные технологические покрытия и тугоплавкие эмали*. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.

11. Солнцев С.С. *Защитные покрытия металлов при нагреве*. – М.:

Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 248 с.

12. Брагина Л.Л., Чепурной А.Д. Защитные технологические покрытия в металлургии и машиностроении // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Тематический выпуск: Машиностроение и САПР: Сборник научных трудов. – 2005. – № 53. – С. 24–28.

13. Технология эмали и защитных покрытий / Л.Л. Брагина, А.П. Зубехина, Я.И. Белый и др. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ); Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 488 с.

14. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Сильченко А.А. и др. Разработка защитных покрытий для снижения окалинообразования // Сталь. – 1985. – № 10. – С. 56–57.

15. Щербаниц Э.Н., Гришина Е.Н., Зиновьев П.Н. и др. Применение жаростойких покрытий для защиты металла от высокотемпературной коррозии // Сталь. – 1983. – № 7. – С. 44–45.

16. А.с. 1100269 РФ. Шихта покрытия для защиты сталей и сплавов / Брагина Л.Л., Воропаев А.П., Гришин Е.Н. и др. // Бюллетень изобретений. – 1984. – № 24.

17. Бобров Г.В., Ильин А.А. Нанесение неорганических покрытий (теория, технология, оборудование). – М.: Интермет Инжиниринг, 2004. – 624 с.

18. Радюк А.Г., Титлянов А.Е., Кульмаметьева Ю.З. Использование газотермических покрытий для защиты стали при высокой температуре // Известия вузов. Черная металлургия. – 2007. – № 5. – С. 58–61.

19. Сенникова А.В. Защита литых чугунных секций газосборного колокола электролизера Содерберга в условиях высокотемпературной газовой коррозии // Вестник магистратуры. – 2012. – № 5 (8). – С. 12–14.

20. Пат. РФ № 2405649 Шиманский А.Ф., Бабкин В.Г., Фризоргер В.К., и др. Опубл 10.12.2010. Бюллетень изобретений. – № 34.

21. Малышев Г.П., Волчок И.П. Повышение эксплуатационной стойкости газосборных колоколов электролизных ванн с верхним токоподводом. Сб. науч.тр. «Металлургия». Вып. 12. – Изд-во ЗГИА, 2005. С. 129–133.

Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.Р. Михно, А.А. Усольцев

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ КОНТАКТНОГО ПОДОГРЕВА СТАЛИ Э76ХФ
НА ТРАНСФОРМАЦИЮ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ**

ФГБОУ ВО Сибирский государственный индустриальный университет,

г. Новокузнецк

Качество сварного соединения рельсов, изготовленных электроконтактным способом сварки, зависит от многих факторов [1 – 6]. Результаты проведенных исследований по влиянию режимов электроконтактной сварки с последующей изотермической выдержкой образцов из рельсовой стали показали, что у полученных сварных стыков наблюдаются низкие пластические свойства, вне зависимости от наличия закалочных структур в металле шва и зоне термического влияния [7, 8]. Вероятнее всего, это происходит по причине наличия несплошностей металла в зоне сварного соединения, а именно из-за оксидных неметаллических включений. Причиной этого может быть тот фактор, что контактную стыковую сварку оплавлением рельсов выполняют на воздухе, без защиты сварочной ванны от окружающей среды, которая, в свою очередь, возможно способствует образованию неметаллических включений. В ходе дальнейших сварочных операций неметаллические включения должны выдавливаться в грат при осадке и удаляться вместе с гратом. По данным работы [9] образование неметаллических включений в металле шва возможно при присутствии их в свариваемом рельсовом металле, причем в сталях, загрязненных примесями, вероятность образования дефектов по линии сварки выше, чем в чистых сталях. Это обусловлено тем, что в слое жидкого металла на поверхности торцов происходит сегрегация примесей основного металла. Ввиду неравномерного выдавливания жидкого металла в процессе деформации торцов на отдельных участках, например в наиболее глубоких кратерах, происходит скопление жидкого металла и, соответственно, неметаллических включений. Такие участки и имеют пониженные механические свойства. Кроме того, в ряде случаев наблюдаемые в изломах по линии сварки неметаллические включения,

принимаемые обычно за дефекты сварки, являются в действительности пороками основного металла. При этом следует отметить, что одной из основных причин вывода рельсов из эксплуатации являются скопления неметаллических включений в зоне сварного стыка [10], а сами неметаллические включения могут образовываться как при производстве стали (при выплавке, внепечной обработке, разливке стали), так и непосредственно при сварке рельсов в плети. Потому вопросам образования неметаллических включений и их трансформации при сталеплавильном производстве и сварке рельсов уделяется большое внимание [11, 12].

Материалы и методы исследования

В лабораторных условиях проведено исследование неметаллических включений, образующихся при электроконтактной сварке с последующей изотермической выдержкой рельсовой стали. Для проведения сварки стали марки Э76ХФ использовали образцы, вырезанные из головки рельса сечением 10×30 мм и длиной 90 мм (табл. 1).

Таблица 1 – Химический состав образцов рельсовой стали

Образец	Массовая доля элемента, %								
	C	Mn	Cr	Si	V	Al	P	S	Cu
<i>0</i>	0,74	0,84	0,37	0,26	0,04	0,002	0,009	0,010	0,10
<i>1</i>	0,76	0,77	0,36	0,53	0,04	0,003	0,010	0,007	0,08
<i>2</i>	0,77	0,80	0,38	0,56	0,04	0,002	0,008	0,006	0,10
<i>3</i>	0,76	0,77	0,36	0,53	0,04	0,003	0,010	0,007	0,08
<i>4</i>	0,76	0,77	0,36	0,53	0,04	0,003	0,010	0,007	0,08
<i>5</i>	0,74	0,79	0,38	0,55	0,06	0,002	0,009	0,005	0,11

Контактно стыковая сварка непрерывным оплавлением проводилась на машине МС – 20.08 по режиму: $I_2 = 11,7$ кА, $U_2 = 5,76$ В, $\Delta_{\text{опл}} = 10$ мм, $V_{\text{опл}} = 1$ мм/с (где I_2 – вторичный ток; U_2 – вторичное напряжение; $\Delta_{\text{опл}}$ – припуск на оплавление; $V_{\text{опл}}$ – скорость оплавления).

После сварки исследуемых образцов в момент охлаждения проводился дополнительный подвод тепла путем пропускания через сварной стык переменного электрического тока по заданным режимам, образцом сравнения проведенных исследований является образец *0*, изготовленный без

дополнительного пропускания тока после контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением. Режимы контактного подогрева образцов стали Э76ХФ приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Режимы контактного подогрева образцов стали Э76ХФ

Образец	Время охлаждения после осадки, с	Время подогрева, с	Время охлаждения после подогрева, с	Количество импульсов подогрева, с
<i>1</i>	30,0	0,6	15,0	2
<i>2</i>	27,5	0,6	12,5	3
<i>3</i>	25,0	0,6	15,0	4
<i>4</i>	25,0	0,6	15,0	2
<i>5</i>	25,0	0,6	10,0	2

Исследование изготовленных образцов стали на неметаллические включения проводилось с использованием металлографического микроскопа OLYMPUS GX-51 при увеличении 100 крат методом сравнения с эталонными шкалами в соответствии с ГОСТ 1778 – 70.

Изучение уровня загрязненности неметаллическими включениями проводили на образцах до сварки, как и после сварки в зоне сварного стыка.

Результаты

На рис. 1 и 2 представлен внешний вид неметаллических включений в основном металле и в зоне сварного шва. Выявленные неметаллические включения являются типичными для включений, образующихся в металле при выплавке рельсовой стали. Результаты оценки степени загрязненности неметаллическими включениями металла приведены в табл. 3, 4.

Представленные данные в таблице 3 указывают на присутствие в основном металле неметаллических включений в виде оксидов точечных, силикатов пластичных, недеформирующихся и хрупких и строчечных нитридов. Проведенные исследования загрязненности образцов показали, что в зоне основного металла выявлены неметаллические включения, схожие с присутствующими в зоне сварного шва. Было установлено, что в основном металле наибольший уровень загрязненности неметаллическими включениями

наблюдается на образце 5, а с низким уровнем загрязненности – на образцах 4 и 6.

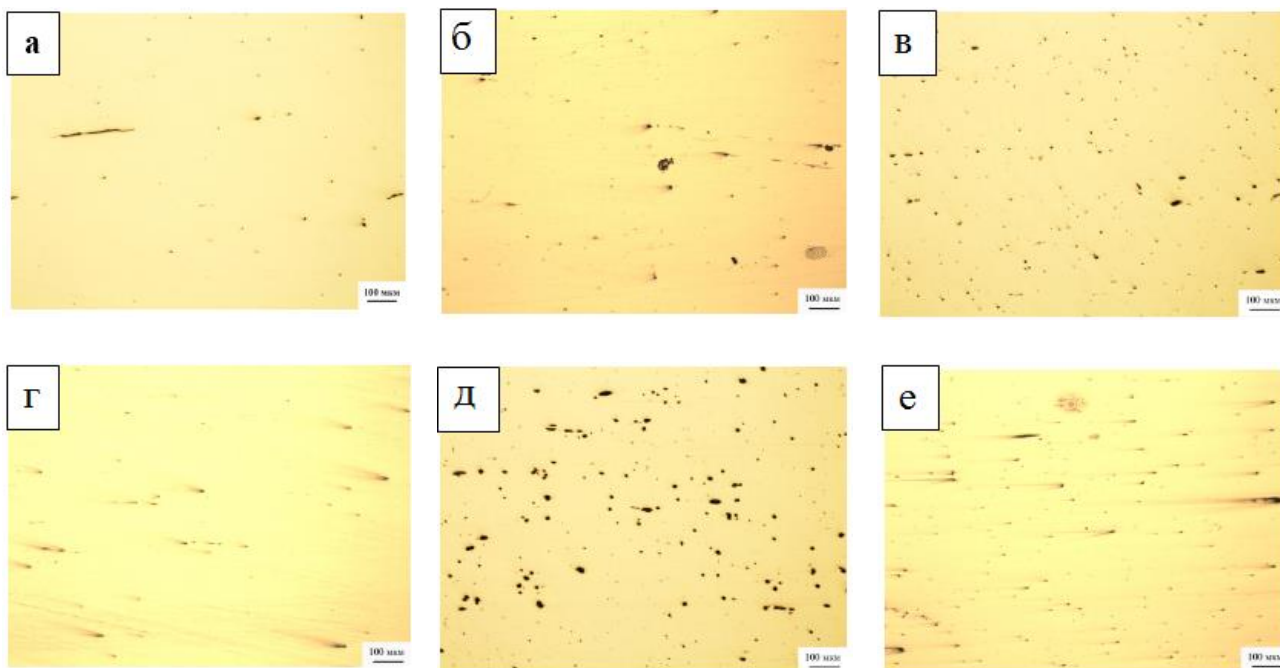


Рисунок 1 – Неметаллические включения основного металла:

а – образец 0; б – образец 1; в – образец 2; г – образец 3;

д – образец 4; е – образец 5

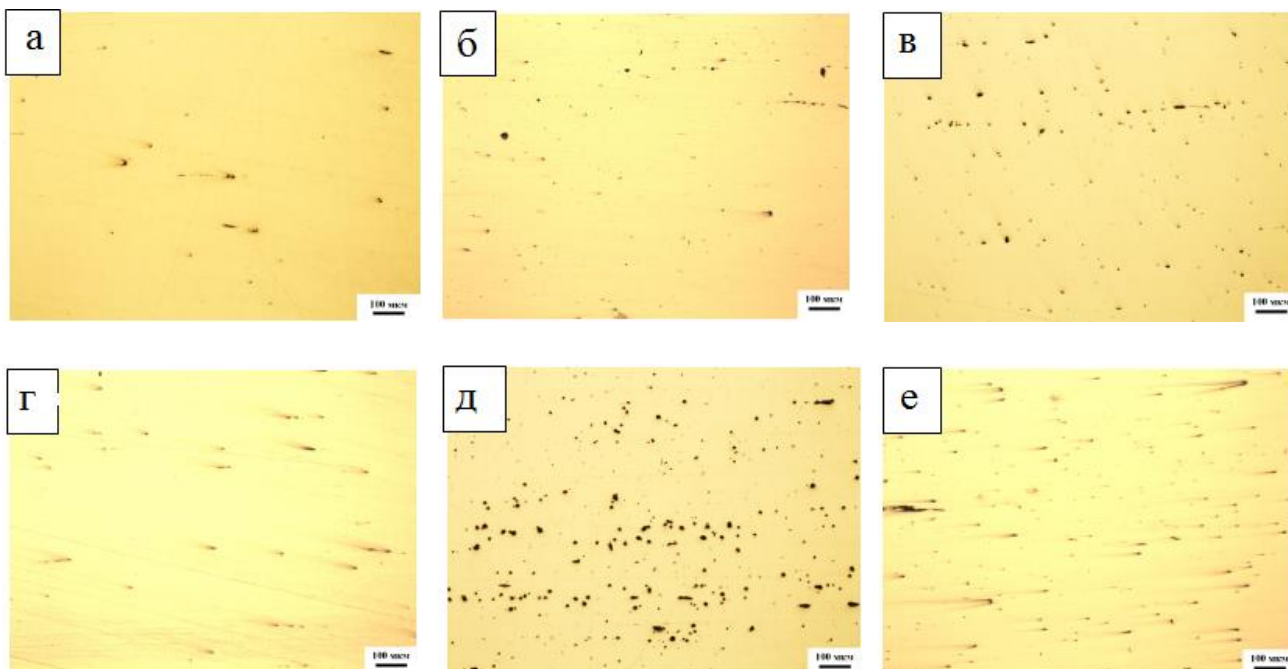


Рисунок 2 – Неметаллические включения сварного шва стали марки Э76ХФ:

а – образец 0; б – образец 1; в – образец 2; г – образец 3;

д – образец 4; е – образец 5

Таблица 3 – Виды неметаллических включений основного металла стали Э76ХФ

Образец	Типы неметаллических включений по образцам, балл					
	Оксиды точечные	Силикаты пластичные	Силикаты недеформирующиеся	Силикаты хрупкие	Нитриды строчечные	Среднее значение
0	1 (а)	3 (а)	–	–	2 (а)	1,2
1	1 (а)	4 (а)	5 (а)	–	–	2
2	1 (а)	–	–	1 (а)	3 (а)	1
3	1 (а)	2 (а)	1 (а)	–	–	0,8
4	4 (а)	4 (б)	–	2(а)	2 (а)	2,4
5	1 (а)	2 (б)	–	–	–	0,6

Таблица 4 – Виды неметаллических включений сварного шва стали Э76ХФ

Образец	Типы неметаллических включений по образцам, балл					
	Оксиды точечные	Силикаты пластичные	Силикаты недеформирующиеся	Силикаты хрупкие	Нитриды строчечные	Среднее значение
0	1 (а)	3 (а)	–	–	2 (а)	1,2
1	1 (а)	4 (а)	5 (а)	–	–	2
2	1 (а)	–	–	1 (а)	3 (а)	1
3	1 (а)	2 (а)	1 (а)	–	–	0,8
4	4 (а)	4 (б)	–	2(а)	2 (а)	2,4
5	1 (а)	2 (б)	–	–	–	0,6

По приведенным в табл. 4 результатам можно сделать вывод, что в зоне сварного шва преобладают неметаллические включения в виде точечных оксидов. В этой области наблюдается загрязненность пластинчатыми, недеформируемыми и хрупкими силикатами и строчечными нитридами. Среди всех образцов выявлено, что наиболее загрязненным является образец 5, а с низким уровнем неметаллических включений – образцы 4 и 6.

Таким образом, неметаллические включения, находящиеся в основном металле, вне зоны шва, типичны для включений, образующихся при выплавке, что свидетельствует о шлаковом характере их происхождения, а контактная стыковая сварка не оказала влияния на образование новых неметаллических включений во время сварки в образцах.

Выводы

1. На основании полученных данных проведенного исследования было установлено, что режимы контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением не оказали влияния на загрязненность образцов неметаллическими включениями.

2. Установлено, что преобладающим типом неметаллических включений в соответствии с ГОСТ 1778 – 70 в сварных соединениях во всех исследуемых образцах являются точечные оксиды. Выявленные в исследуемых образцах неметаллические включения типичны для включений, образующихся при выплавке рельсовой стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов В.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Крюков Р.Е. Методика определения электрического сопротивления рельсовой стали // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. – 2018. – Вып. 40. – С. 111–117.

2. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е. Совершенствование технологии электроконтактной сварки и термообработки железнодорожных рельсов // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. – 2018. – Вып. 40. – С. 63–68.

3. Shevchenko R.A., Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Patrushev A.O., Usoltsev A.A. Multi-factor regression analysis of the process of rails contact welding on K1000 machine // Metallurgy2017. IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 411. – Article 012088. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/411/1/012088>

4. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Патрушев А.О., Кратько С.Н., Шишкин П.Е. Определение оптимальных режимов работы рельсосварочной машины K1000 // Вестник РАЕН (Западно-Сибирское отделение). – 2017. – Вып. 20. – С. 118–126.

5. Шевченко Р.Е., Козырев Н.А., Куценко А.И., Усольцев А.А., Куценко А.А. Методика исследования влияния режимов изотермического отжига при сварке рельсов откаточных путей горных выработок // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2018. – № 4. – С. 269–273.

6. Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Князев С.В. Современные технологии сварки железнодорожных рельсов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – Вып. 2 (1418). – С. 62–68.

7. Протопопов Е.В., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Шевченко Р.А., Усольцев А.А. Новая технология сварки железнодорожных рельсов // Сб. Трудов. XV Международного конгресса сталеплавателей (г. Москва-Тула, 15-19 октября 2018 г.) – М.: МОО «Ассоциация сталеплавателей», 2018. С. 296–300.

8. Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А. Разработка новой технологии сварки рельсов для высокоскоростного движения // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – Вып. 8 (1424). С. 50–57.

9. Кучук-Яценко С.И., Лебедев В.К. Контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением: монография. – Киев: Наукова думка, 1976. – 216 с.

10. Бутакова К.А. и др. Исследование структуры сварного соединения рельсовой стали марки Э76Х при различных параметрах изотермической выдержки // Вестник горно-металлургической секции Российской академии наук. Отделение металлургии. – 2018. – № 41. – С. 221–224.

11. Полевой Е.В., Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Кушев Д.Ю., Юнусов А.М. Исследование неметаллических включений, образующихся при электроконтактной сварке рельсовой стали // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2019. – № 1 (27). – С. 8–12.

12. Уманский А.А., Головатенко А.В., Симачев А.С. Исследования состава и распределения неметаллических включений по сечению рельсовых профилей // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. – 2019. – Вып. 42. – С. 22–27.

Н.А. Козырев, Р.А. Шевченко, А.А. Усольцев, А.Р. Михно

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ КОНТАКТНОГО ПОДОГРЕВА СТАЛИ Э76ХФ НА МИКРОСТРУКТУРУ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕЛЬСОВ*

ФГБОУ ВО Сибирский государственный индустриальный

университет, г. Новокузнецк

Для обеспечения гарантированной безопасности дорожного движения сварное соединение рельсов должно соответствовать ряду требований, которые гарантируют эксплуатационную стойкость сварных стыков, при этом важна и микроструктура сварного соединения [1 – 7].

При разработке и изучении новой технологии сварки с последующей изотермической выдержкой рельсовой стали марки Э76ХФ проведено исследование микроструктуры в лабораторных условиях. Для проведения сварки из головки железнодорожного рельса профиля Р65 марки Э76ХФ вырезались образцы сечением 10 × 30 мм и длиной 90 мм. Химический состав изучаемых образцов приведен в табл. 1. Контактную стыковую сварку непрерывным оплавлением с последующей изотермической выдержкой проводили на машине МС – 20.08.

Таблица 1 – Химический состав образцов рельсовой стали

Образец	Массовая доля элементов, %							
	C	Mn	Cr	Si	V	Al	P	S
0	0,74	0,84	0,37	0,26	0,04	0,002	0,009	0,010
1	0,76	0,77	0,37	0,53	0,04	0,003	0,010	0,009
2	0,76	0,77	0,36	0,53	0,04	0,003	0,010	0,007
3	0,76	0,77	0,37	0,53	0,04	0,003	0,010	0,009
4	0,77	0,80	0,38	0,56	0,04	0,002	0,008	0,006
5	0,74	0,79	0,38	0,55	0,06	0,002	0,009	0,005

Сварка образцов осуществлялась с подводом дополнительного тепла в момент их охлаждения путем пропуска через сварной стык переменного электрического тока по заданным режимам (табл. 2).

Исследуемыми параметрами введения дополнительного тепла являлись: X_1 – время охлаждения после осадки (характеризуется скоростью охлаждения (степень переохлаждения аустенита) и температурой T_1 , до которой происходит охлаждение); X_2 – время подогрева (характеризуется температурой T_2 , до

которой происходит нагрев); X_3 – время охлаждения после подогрева (характеризуется температурой T_1 , до которой происходит охлаждение); X_4 – количество импульсов подогрева (характеризуется инкубационным периодом превращения аустенита в перлит). Для сравнения использовали образец 0, выполненный способом контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением без термической обработки.

Таблица 2 – Режимы контактного подогрева образцов стали Э76ХФ

Режим, №	X_1 , с	X_2 , с	X_3 , с	X_4 , с
1	30	0,6	15	4
2	30	0,6	15	2
3	30	0,6	10	2
4	25	0,6	10	4
5	25	0,6	10	2

Исследование изготовленных образцов стали на изменение микроструктуры проводили при увеличении $\times 500$ с помощью оптического металлографического микроскопа OLYMPUS GX-51. Для создания оптического контраста образцов проводилось химическое травление 4 %-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте в течение 6 с. Анализ и оценка микроструктуры образцов выполнены по ГОСТ 8233 – 56. Исследование микротвердости исследуемых образцов было проведено по ГОСТ 9450 – 76 с помощью микротвердомера HVS–1000.

Материалы и методы исследования

Анализ микроструктуры образцов проводили по зонам. Выделены следующие характерные области: шов – обезуглероженный слой, зона крупного зерна, зона мелкого зерна, основной металл. Диаграмма протяженности зоны термического влияния приведена на рис. 1.

На рис. 2 представлены снимки структуры, полученные при различных режимах контактного подогрева, а результаты оценки микроструктуры на бальность в зоне сварного шва представлены в табл. 3.

Протяженность зоны
термического влияния

Макроструктура образца

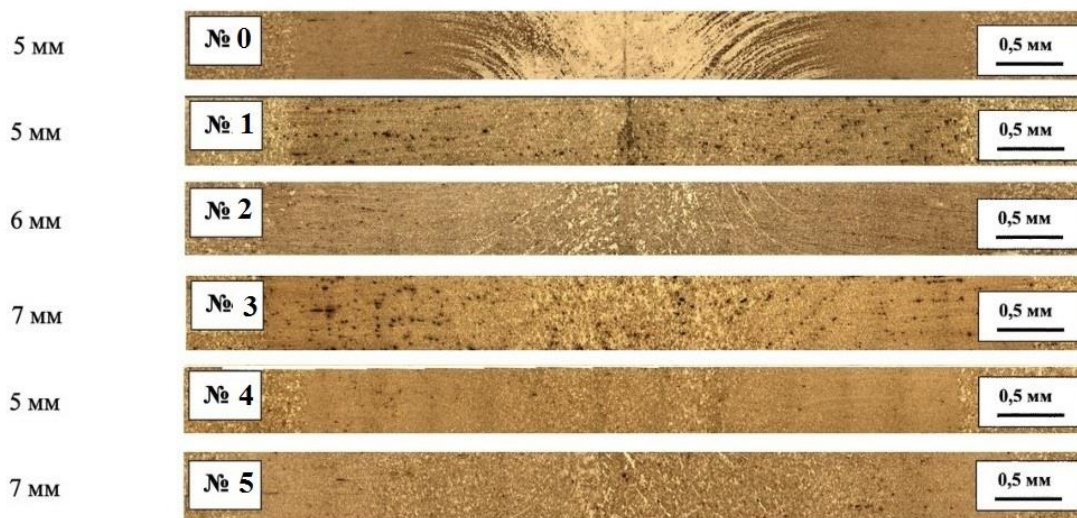


Рисунок 1 – Протяженность зоны термического влияния

Таблица 3 – Оценка микроструктуры в зоне сварного шва

Режим, №	Объемная доля мартенсита/троостита, % (балл)	Степень дисперсности пластинчатого перлита, балл
0	95/5 (4)	-
1	-	2
2	>75/<25 (7,5)	-
3	-	4
4	-	1
5	25/75 (7)	-

В зоне сварного шва преобладает структура пластинчатого перлита. Дисперсность этого типа структуры изменяется в пределах 1 – 4 балла по шкале 1 ГОСТ 8233 – 56. Для образца 4 в данной зоне преобладает сорбитообразный перлит с межпластинчатым расстоянием менее 0,2 мкм, для образца 1 – скрытопластинчатый перлит с межпластинчатым расстоянием 0,3 мкм. Для образца 3 преобладает мелкопластинчатый перлит с межпластинчатым расстоянием 0,4 мкм. Согласно ГОСТ Р 51685 – 2013 данные типы структур являются допустимыми в рельсовом металле.

В сварном шве образцов 0, 2 и 5 присутствует структура игольчатого мартенсита. Размеры игл для образца 0 оцениваются баллом 7 шкалы 3 ГОСТ 8233 – 56 и относятся к типу крупноигльчатого мартенсита с наибольшей длиной игл 12 мкм. Для образца 2 структура мартенсита соответствует баллу 6 шкалы 3 ГОСТ 8233 – 56. Такой тип мартенсита относится к

среднеигльчатому мартенситу, где наибольший размер игл составляет 10 мкм. Для образца 5 в зоне сварного шва наблюдается мартенсит, оценивающийся баллом 4 шкалы 3 ГОСТ 8233 – 56. Данный тип мартенсита соответствует мелкоигльчатому мартенситу с наибольшей длиной игл 6 мкм. Наличие таких структур недопустимо в рельсовом металле.

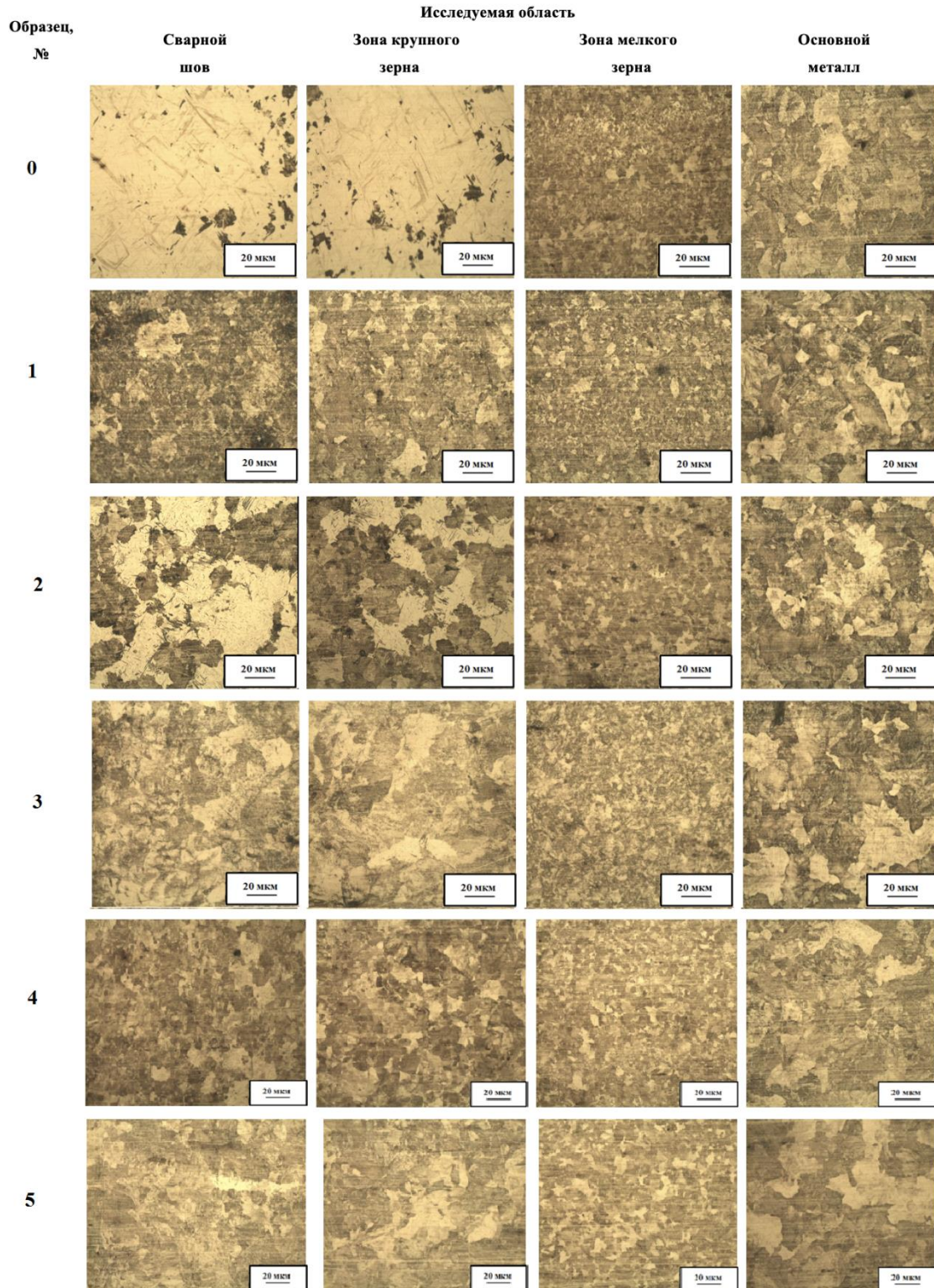


Рисунок 2 – Микроструктура различных областей, полученная при различных режимах

Результаты оценки микроструктуры на бальность в зоне крупного зерна представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Оценка микроструктуры в зоне крупного зерна

Режим, №	Протяженность зоны	Объемная доля мартенсита/троостита, % (балл)	Степень дисперсности пластинчатого перлита, балл
0	0,9 мм	95/5 (4)	-
1	0,9 мм	-	1
2	2,09 мм	25/75 (9)	-
3	1,9 мм	-	3-4
4	0,9 мм	-	1
5	3,09 мм	25/75 (9)	-

Приведенные данные в табл. 4 свидетельствуют о преобладании в зоне крупного зерна структуры пластинчатого сорбитообразного перлита с межпластинчатым расстоянием менее 0,2 мкм. Для режима № 3 обнаружен тонко- и мелкопластинчатый перлит с межпластинчатым расстоянием до 0,6 мкм. Проведенные исследования микроструктуры образцов 0, 2 и 5 показали, что в зоне крупного зерна (так же как и в металле сварного шва) присутствует мартенситная структура, наличие которой не допускается в рельсовом металле. Для образцов 0 и 2 мартенсит оценивается баллом 8 шкалы 3 ГОСТ 8233. Данный тип мартенсита относится к крупноигльчатому мартенситу с размером игл 16 мкм. Для режима 5 мартенсит оценивается баллом 5 шкалы 3 и относится к типу среднеигльчатого мартенсита с размером игл 8 мкм.

Микроструктура в зоне мелкого зерна представляет собой пластинчатый и зернистый перлит в различной стадии коагуляции. Дисперсность пластинчатого перлита оценивается баллом 1 шкалы 1 ГОСТ 8233 – 56 и соответствует сорбитообразному перлиту с межпластинчатым расстоянием менее 0,2 мкм. Дисперсность зернистого перлита оценивается баллом 1 шкалы 1 ГОСТ 8233 – 56. Данный тип зернистого перлита относится к точечному со средним диаметром зерен цементита до 0,25 мкм. Протяженность данной зоны для исследуемых образцов варьируется от 3 до 5 мм. Режимы № 1, № 5 имеют наименее протяженную область мелкого зерна, равную 3 мм, режим № 3 – наибольшую, равную 5 мм.

Структура основного металла исследуемых образцов представляет собой

пластинчатый перлит 1 – 2 балла по шкале 1 ГОСТ 8233 – 56, что характерно для структуры нетермоупрочненных рельсов.

Протяженность зон термического влияния, а так же значения микротвердости по зонам, выявленные в зоне термического влияния, представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Протяженность зон термического влияния и средние значения микротвердости для исследуемых режимов

Образец	Протяженность зоны термического влияния, мм	Средние значения микротвердости HV1			
		Зона сварного шва	Зона крупного зерна	Зона мелкого зерна	Основной металл
0	5	519,00	525,02	418,98	369,21
1	5	356,44	347,50	328,49	321,59
2	6	413,08	374,13	333,72	344,27
3	7	294,50	300,70	303,90	324,90
4	5	358,90	352,90	329,50	330,30
5	7	365,82	355,40	284,12	318,42

Наименьшая протяженность зоны термического влияния наблюдается у сварных стыков, образцов 0, 1, и 4 (около 5,0 мм), а наибольшая – у сварного стыка 3,5 (около 7,0 мм). Граница между основным металлом и зоной термического влияния обуславливается резким различием в размере зерна (или перлитной ячейки) между двумя областями. Максимальные значения микротвердости в зоне сварного шва и крупного зерна наблюдаются в образцах, полученных на образцах 0 и 2, что подтверждает наличие в этих зонах у данных образцов структуры мартенсита. Минимальные значения микротвердости характерны для зоны мелкого зерна. Снижение микротвердости после сварки в зоне мелкого зерна, очевидно, произошло вследствие образования зернистого перлита на данном участке. Область, относящаяся к зоне основного металла, имеет микротвердость 330 HV1. Равномерное распределение микротвердости получено при режимах № 3 и № 4.

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее оптимальным из представленных режимов контактного подогрева для образцов стали Э76ХФ является режим образца 4, который сочетает минимальную протяженность зоны термического влияния, отсутствие в сварном соединении закалочных структур, удовлетворительную протяженность зоны мелкого зерна и

оптимальные значения микротвердости.

Выводы

1. В результате изучения микроструктуры сварного соединения образцов рельсовой стали Э76ХФ в зоне термического влияния выделены и исследованы следующие участки: сварной шов, зона крупного зерна, зона мелкого зерна и основной металл.

2. При изучении микроструктуры в зоне сварного шва рельса после контактно-стыковой сварки без использования контактного подогрева, в момент охлаждения сварного соединения, выявлены недопустимые структуры, представляющие собой игольчатый мартенсит.

3. На основании полученных данных микроструктуры, протяженности зоны термического влияния и значений микротвердости выбраны оптимальные режимы контактного подогрева после контактной стыковой сварки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shevchenko R.A., Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Patrushev A.O., Usoltsev A.A. Multi-factor regression analysis of the process of rails contact welding on K1000 machine // Metallurgy2017. IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 411. – Article 012088. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/411/1/012088>

2. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е. Совершенствование технологии электроконтактной сварки и термообработки железнодорожных рельсов // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. – 2018. – Вып. 40. – С. 63–68.

3. Генкин И.З. Сварные рельсы и стрелочные переводы. – М.: Интекст, 2003. – 93 с.

4. Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Князев С.В. Современные технологии сварки железнодорожных рельсов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – Вып. 2 (1418). – С. 62–68.

5. Кучук-Яценко С.И., Лебедев В.К. Контактно стыковая сварка непрерывным оплавлением: монография. – Киев: Наукова думка, 1976. – 216 с.
6. Шевченко Р.Е., Козырев Н.А., Куценко А.И., Усольцев А.А., Куценко А.А. Методика исследования влияния режимов изотермического отжига при сварке рельсов откаточных путей горных выработок // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2018. – № 4. – С. 269–273.
7. Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А. Разработка новой технологии сварки рельсов для высокоскоростного движения // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – Вып. 8 (1424). – С. 50–57.

В.И. Мяленко, А.А. Косолапова

ФРАГМЕНТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРУДИЙ ТРУДА ДРЕВНЕГО ЗЕМЛЕДЕЛЬЦА

*ФГБОУ ВО Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Кемерово*

Введение

Технический прогресс и его объективные тенденции достаточно полно раскрываются в этапах совершенствования древних земледельческих орудий.

В результате обобщения известных историко-научных факторов замечена характерная эволюционная направленность в совершенствовании земледельческих орудий: поиск последовательных усовершенствований, обеспечивающих наибольшую полезность для человека. Современное состояние земледелия, знание физико-биологических процессов, протекающих в почве, а так же замеченные риски появления отрицательных последствий механического воздействия на почву сформировали, начиная с древности, определенные направления совершенствования земледельческих орудий, которые необходимо учитывать и сегодня при разработке новых конструкций.

Материалы, методы и обсуждение

Вся история развития человечества, становление человека человеком, формирование его умственных способностей во многом обязаны земледельческим орудиям. Начиная с самой ранней своей истории человек, когда он только приобретал свои первые навыки независимого существования и находился в поиске своего места в окружающем мире, невольно обращал внимание на доступные съедобные злаки и разные растения, интересовался особенностями их произрастания.

Человек начинал вмешиваться в природу развития растений. Только позже, когда начинало зарождаться земледелие, позволяющее своими результатами разнообразить ассортимент питания человека, появилась

потребность применения различных орудий труда для возделывания растений. Действительно, начиная со времен «палочного» земледелия, требовались от человека немалые умственные и физические напряжения для его осуществления, когда с помощью заострённой палки проделывались в земле углубления, в которые помещались отобранные семена будущих культурных растений [1]. Затем становилось недостаточным производить только углубления в почве, необходимо было разбивать корневища сорных растений и частично сдвигать почву. Дальше появилось ручное орудие, напоминающее по форме мотыгу (тяпку), где для создания большей силы удара применялось радиальное движение каменного наконечника, закрепленного на конце черенка.

Все эти естественные устремления человека довольно ясно прослеживаются, начиная с первых этапов совершенствования земледельческих орудий. Простая палка-землекопалка, которая постепенно превращается в деревянную лопату, усложнённую землекопалку с подставкой для ноги, затем с раздвоенной рабочей частью или двумя зубьями, появление прототипа мотыги – вот первые вехи совершенствования ручного земледельческого орудия, образцы которых были обнаружены при раскопках на территориях древнего земледелия [2].

По мере наблюдений за развитием растений древнему земледельцу потребовалось орудие, способное производить сплошные борозды на поле. Так появилось первое пахотное орудие: двурукое грядило (двурукоятное кривогрядильное рало), датируемое последней четвертью IV тысячелетия до н.э. [3, 4].

Во всех этих устремлениях формировалась триединая направленность действий человека для получения своей пользы, то есть полезность выступала как таковая в качестве изначального движителя, увлекая за собой необходимость в познании биологических законов развития растений и поиске инструментов для возделывания растений – в совершенствовании орудий труда. Характерным примером такого единения при совершенствовании орудий труда послужила ситуация с необходимостью утяжеления своих орудий. Действительно, при использовании двурукого грядила требовалось

значительное усилие на непосредственное заглубление орудия, то есть для вдавливания его в землю. Усилий от веса человеческого тела порой становилось недостаточно для необходимого заглубления орудия. Древний земледелец уже достаточно ясно осознавал, что требуется большая глубина рыхления почвы для развития корневой системы культурных растений. Тогда было придумано искусственное утяжеление с помощью камня с отверстием, похожим на кольцо. Такие каменные кольца находились вместе с земледельческими орудиями при раскопках [3, 4]. При таком утяжелении, казалось бы, достигался успех, но возникало противоречие, увеличивающее затраты усилий на перемещение. На рисунке 1 показаны контуры простейших земледельческих орудий древности.

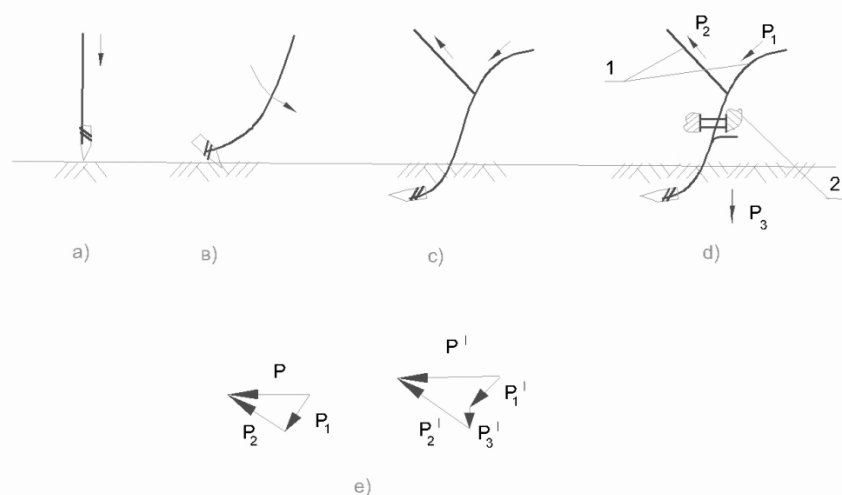


Рисунок 1 – Контуры простейших земледельческих орудий древности:
 а – «палка землекопалка»; в – примитивная мотыга; с – двурукое грядило;
 d – двуручное грядило с утяжелением; е – распределение сил при утяжелении орудия

На рисунке 1 земледельческие орудия расположены в порядке их совершенствования. Двуручное грядило обслуживали два человека, действуя усилиями P_1 , P_2 . Вместе они совершали перемещение орудия общим усилием P . Когда же применялось утяжеление и глубина внедрения наконечника орудия увеличивалась, то увеличивалось и общее усилие по перемещению орудия $P' > P$ (рис. 1). Очевидно, в этой ситуации приходилось делать определенные выводы. Вероятно опыт утяжеления земледельческого орудия был началом первых представлений о распределении сил при работе с двуручным орудием.

Дальнейшее развёртывание поиска новых технических усовершенствований земледельческих орудий древности привело к применению передка на колесах. К тому времени древние умельцы уже применяли колеса в своей житейской практике.

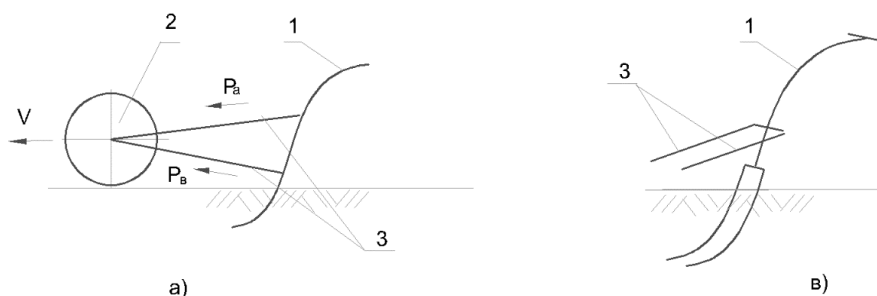


Рисунок 2 – Схемы земледельческих орудий:

а – с передком на колесах; в – контур-прототип первой сохи; 1 – контур орудия; 2 – передок на колесах; 3 – дышло; V – направление движения орудия

На рис. 2, а орудие 1 присоединено к передку на колесах 2 с помощью дышла 3. Здесь появилась возможность регулировать глубину заглубления орудия путем перемещения дышла в разные точки: в точку «а» или точку «в». Тогда усилие, передаваемое через дышло P_A , имело заглубляющую составляющую, а P_B – выглубляющую.

Древнее земледелие с применением домашнего скота уменьшило затраты мускульной энергии земледельца. Данная инновация позволила значительно увеличить производительность работ при обработке почвы, а древнее двурукое грядило с раздвоенным наконечником явилось прообразом будущей сохи (рис. 2, в). При применении передка на колесах сопоставление затрат мускульной энергии с разными вариантами соединения дышла, можно предположить, и явилось основанием изобретения самого передка на колесах. Это изобретение позволяло регулировать глубину рыхления почвы и снижало затраты сил земледельца на преодоление вертикальных реактивных сил [4].

Довольно длительное время потребовалось для того, чтобы повсеместно в обиход вошло применение металлических изделий, появились навыки литья металла и его последующей обработки, началось изготовление металлических

наконечников для орудий, применяемых в земледелии. Развернувшаяся сфера широкого применения металла в изготовлении различных механизмов нашла свой отклик при изготовлении рабочих органов земледельческих орудий [6]. Появился металлический лемех и отвал первого корпуса плуга рыхлителя. Все эти технические возможности земледельческих орудий позволяли реализовать уже имеющиеся знания о почве и растениях. Но здесь же возникали и новые проблемы: оказалось, что на металлические поверхности лемехов и отвалов происходили частые налипания и сгущивание почвы, необходим был поиск рациональных поверхностей лемехов и отвалов, да и металл требовался определённых свойств (сталь, чугун). Появились первые учёные, которые занимались разрешением возникающих проблем в ходе совершенствования земледельческих орудий.

В XVII – XVIII вв. были получены первые варианты винтовых и цилиндрических отвалов корпусов плугов, позволяющие с разной интенсивностью производить рыхление и оборот почвенного пласта, заделывая сорные растения [7, 8].

Пожалуй, наиболее значимым событием того времени, которое развернуло совершенно новые возможности для повышения производительности труда в земледелии, было появление в мире первого трактора. Появление трактора разворачивало совершенно новые технические возможности для совершенствования земледельческих орудий. В 50-х годах XIX века в мире появился первый трактор, и, примерно, через 30 лет в России создается свой экземпляр трактора. Но, как всегда, в истории развития техники появление новых возможностей порождает и новые проблемы, которые невозможно не учитывать.

Первые тракторы в те времена имели необычайно большую массу, и его перемещение по полю сопровождалось высоким удельным давлением на почву. Тогда уже учитывалось, что почва является многомерной средой, содержащей помимо твёрдой фазы почвенный воздух и воду, и именно это её состояние позволяло развиваться всей её внутренней флоре. Также было известно, что растения плохо развиваются в переуплотненной почве в местах прохода

трактора. И первым техническим предложением того времени было применение плугов на канатной тяге. На рис. 3 изображена схема работы плуга на канатной тяге.

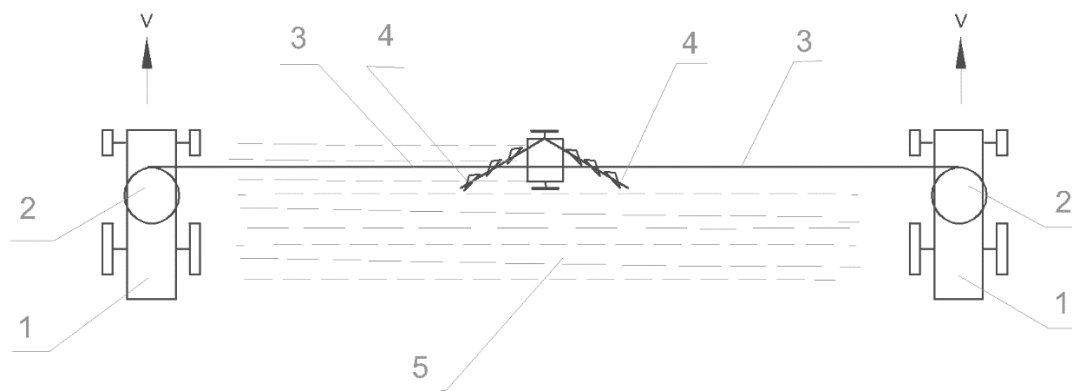


Рисунок 3 – Схема работы плуга на канатной тяге:

1 – трактор; 2 – блок с канатом 3; 4 – плуг; 5 – обработанная плугом пашня

На краях прямоугольного поля располагались по одному трактору 1, на блоках 2 находился канат 3, который поочередно сматывался или разматывался при перемещении плуга 4 в одном из направлений. Плуг 4 имел право- и левооборачивающие почву корпуса, что обеспечивало получение гладкой пашни 5. Однако высокие затраты и практическое разнообразие конфигураций имеющихся полей не позволили развиваться этому направлению дальше изобретения и первых экспериментов [9]. После этих экспериментов сформировались, по крайней мере, две целевые тенденции совершенствования земледельческих орудий, которые до настоящего времени не теряют своей актуальности. Это снижение трудоемкости обработки почвы (снижение тягового сопротивления плуга) и повышение ее качества.

Древняя история совершенствования земледельческих орудий, о которой можно судить, в основном, по результатам известных раскопок старинных курганов, на наш взгляд, проходила чередованием внедрения разных существенных инноваций. Начиная от простейшей «палки землекопалки», затем передок на колесах, использование домашних животных, применение металлических наконечников и наконец, появление первого трактора. Все это инновационное движение приводило не только к совершенствованию как таковому, но и способствовало более глубокому пониманию биологических

особенностей почвы и растений, а так же осуществляло знакомство с техническими законами зарождающей механики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В.И. Автотрофность человечества // Химия и жизнь. – 1970. – № 2. – С. 17–22.
2. Хлопин И.Н. Геоксюрская группа поселений энеолита. – М., Л.: 1964. – С. 98–99.
3. Андриянов Б.В. Земледелие наших предков. – М.: Наука, 1978. – 165 с.
4. Краснов Ю.А. Древнейшие упряжные пахотные орудия. – М.: Наука, 1975. С. 34.
5. Сельскохозяйственная энциклопедия. Т. 5 (Т-Я) / Гл. редактор П.П. Лобанов и др. – М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1956. С. 663.
6. Глозман А.Б. Логика развития техники: имманентно техническое и деятельное // Философия и общество. – 2008. – № 1. – С. 139–157.
7. Горячкин В.П. Собрание сочинений. Т. 2. – М.: Колос, 1968. С. 5–10.
8. Зелинский А. Теория плуга, окучника и бороны. – М., 1885. С. 91.
9. Боголюбов А.Н. Механики: биографический справочник. – Киев: Наукова думка, 1983. – 639 с.

УДК 631.95

О.И. Степанова

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ В АГРОЦЕНОЗАХ

(обзор литературы)

ФГБУ Центр агрохимической службы «Кемеровский»

Введение

Проблема сохранения почв отмечена в правительственных документах РФ последнего десятилетия как первоочередная. Для устойчивого развития сельского хозяйства предлагается пересмотреть отношение к экосистемам, в частности к агроэкосистемам.

Человечество использует плодородие почв для получения значительной части продуктов питания, и защита среды обитания людей является актуальной задачей общества. В условиях антропогенной нагрузки жизненной актуальностью необходимо решение вопросов повышения устойчивости почв.

На всемирной конференции 1972 г. в Стокгольме поднимались проблемы защиты среды, бережного отношения к окружающей среде, улучшения качества жизни людей. В 1987 г. в докладе Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР) отмечалась необходимость достижения устойчивого социально-экономического развития с полным учетом экологических факторов. На конференции ООН 1992 г. по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро говорилось о необходимости формирования новой модели, ведущей к «устойчивому развитию» – к модели, при которой достигается удовлетворение жизненных потребностей нынешнего поколения людей без лишения такой возможности будущих поколений.

Для почв установлен запрет на снижение почвенного плодородия, на ухудшение гидрологического режима и качественного состава грунтовых и поверхностных вод, на процессы деградации (физической, химической и биологической) и дефицит органического вещества и биогенных элементов, на превышение ПДК и ОДК токсикантов в почве и кислотность почвенного раствора ниже оптимального уровня поколений [1]. Для растений введен запрет на нерациональное использование пестицидов, пожнивных остатков и побочной продукции растениеводства; неприменение органических и минеральных удобрений для оптимизации продуктивности и качества урожая возделываемых культур. Система ограничений и запретов для отдельных компонентов агроландшафта названа экологическим императивом.

Для устойчивого функционирования производства и увеличения объема сельскохозяйственной продукции необходимо рациональное использование земельных ресурсов с учетом экологических и региональных особенностей всех компонентов земельных ресурсов и оптимизации всей системы землепользования. «Плодородие – важнейший экологический фактор в жизни человека и главная функция почвы, а вместе с климатом – основа

существования человека» [2]. Г.В. Добровольский [3] отмечает, что «...плодородная почва – это конечный природный ресурс, для жизни человека не менее значимый, чем чистый воздух и пресная вода!», и плодородие почв – важнейшая общеэкологическая функция почв.

Устойчивость агроэкосистемы к воздействию природных и антропогенных факторов зависит от плодородия почвы и способности ее формировать урожай сельскохозяйственных растений, обеспечивать сопряженность биохимических и геохимических циклов минеральных элементов. Продуктивность агрофитоценозов характеризует устойчивость и стабильность экосистемы [4].

Получение продукции растениеводства в необходимых количествах и с соответствующим гигиеническим нормам содержанием химических элементов – первейшая задача жизнеобеспечения населения. Для продовольственной безопасности Российской Федерации производство зерна и картофеля должно составлять не менее 95 % от их потребности на внутреннем рынке [5]. Для выполнения поставленных задач необходимо повышать плодородие почв пашни, так как от их состояния зависят урожайность и качество сельскохозяйственной продукции [6, 7].

Баланс основных элементов питания растений

В агроценозах происходит вынос элементов с урожаем, потери их в результате почвенного и внутрипочвенного стока, водной и ветровой эрозии, денитрификации. Устойчивость почв определяет круговорот биогенных элементов. Нарушение баланса гумуса и элементов питания ведет к снижению продуктивности пашни и к снижению устойчивости производства продукции.

Согласно докладу о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Минсельхоза РФ [8] баланс элементов питания растений отрицательный. В период 2006 – 2011 гг. из почвы урожаем вынесено 55,8 млн т питательных веществ, возвращено в почву 4,54 млн т, в т.ч., с минеральными удобрениями внесено 2,45 млн т действующего вещества (д.в.). Отрицательный баланс составил 84 кг/га посевной площади.

Дефицит баланса элементов питания в почвах пашни ведет к

уменьшению объема производимой продукции и к снижению её качества, устойчивости агроэкосистем. В этой связи, экологически обусловленная задача – компенсация дефицита биогенных элементов [9].

В.Г. Минеев и Т.Н. Большева [10] отмечают, что баланс биогенных элементов как региона в целом, так и отдельных агрофитоценозов характеризует состояние культуры земледелия. Пашня в современный период развития общества используется экстенсивно и вынос основных биогенных элементов возделываемыми сельскохозяйственными культурами часто превышает их поступление в почву. При расчете балансов элементов в агроценозах в целом для страны и регионов получаем полезную экономическую и экологическую информацию. В зависимости от приходных и расходных статей баланса рекомендуются приемы повышения плодородия почв, дозы удобрений, оптимальные системы севооборотов [11].

А. Кабата-Пендиас [12] пишет, что баланс и циклы микроэлементов в специфических биогеохимических условиях все еще представляют интерес для изучения, несмотря на достижения биогеохимиков в понимании законов, контролирующих основные процессы в окружающей среде. Экосистемы взаимодействуют и образуют не замкнутый биохимический круговорот. Неполная замкнутость биохимических циклов приводит к дифференциации элементов, они накапливаются в биосфере [13]. Интегральная экологическая функция почв – плодородие, важная характеристика которого – сильная пространственная изменчивость, обусловленная взаимодействием различных свойств и функций [14].

Одним из критериев экологического контроля в регионе, ведения земледелия и состояния плодородия почв является баланс биогенных элементов питания растений. Г.В. Мотузова [15] отмечает, что «...почву составляют соединения химических элементов, которые обеспечивают устойчивость почвы и возможность выполнения ею экологических функций. Соединения химических элементов в почве объединены в систему соподчиненных процессами образования, трансформации химических веществ и перераспределения их в пределах всех фаз почвы, почвенных горизонтов,

почвенного профиля, биогеоценоза, ландшафта, биосферы».

Ежегодный вынос питательных веществ из почвы в РФ в два раза превышает их возврат с вносимыми удобрениями. В период 2006 – 2011 гг. отрицательный баланс питательных веществ за 6 лет составил 30,2 млн т действующего вещества [16]. По заключению В.Г. Минеева [17] «Вынос биогенных элементов с урожаем культур происходит за счет мобилизации потенциального плодородия почвы, что может привести к серьезным негативным экологическим и экономическим последствиям».

Балансы основных биогенных элементов в Кузбассе отрицательные, за исключением баланса фосфора в 1970 – 1990 гг. – период активного применения удобрений [18 – 21]. По уточненному прогнозу и расчетам для бездефицитного баланса в земледелии региона требуется вносить 32 тыс. т д.в. минеральных удобрений под зерновые культуры, в т.ч. азотных – 21 тыс. т, фосфорных – 4,3 тыс. т и калийных – 6,7 тыс. т д.в. с учетом внесения органических удобрений, включая солому и сидераты.

Почва как открытая многопараметрическая система требует учета и описания всех ее свойств: прогнозирования содержания органического вещества [22], содержания подвижных форм питательных веществ в почве, изменения значения рН и расчета дозы извести [23], использования в расчетах погодных условий [24]. Почвы как открытые системы существуют в условиях притока веществ и энергии извне, и устойчивость их зависит в большей мере от условий извне.

Плодородие почвы и её способность обеспечивать урожай сельскохозяйственных культур определяют устойчивость агроэкосистемы к воздействию природных и антропогенных факторов. Продуктивность пашни характеризует устойчивость и стабильность экосистемы.

Исследования многих ученых показывают, что как дефицит, так и избыток некоторых элементов в растениеводческой продукции может вызывать заболевание человека и животных [25 – 37]. Поэтому, кроме изучения их накопления в тканях и продуктах, выведения из организма, необходимо изучение накопления в почве и растениях [38].

Миллионы людей во всем мире страдают от нарушения баланса питательных веществ основных биогенных элементов и загрязнения почвы. Превышение же концентрации элементов свыше допустимого может быть причиной отравления растений, домашнего скота и диких животных [10, 25, 38]. Было подсчитано, что треть населения земного шара страдает от дефицита Zn, который определяет 1,4 % от общей смертности [39]. Кроме того, существует взаимосвязь между недостатком микроэлементов, в т.ч. меди, и сердечно-сосудистыми заболеваниями [40].

Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO) и Всемирная организация здравоохранения (WHO) [41] приводят необходимое количество минеральных элементов для взрослых, мг/сутки: P 800; Mg 350; Na 500; K 2000; Cl 750; Fe 10; Zn 15; Cu 1,5 – 3,0; Mn 2 – 5; Mo 75 – 250; Cr 50 – 200; F 1,5 – 4,0. Людям для нормального развития, поддержания здоровья и общего благополучия требуется набор минеральных элементов в различных количествах.

Отрицательно влияет на здоровье людей потребление продуктов с недостаточным содержанием ряда макро- и микроэлементов [25, 42 – 45]. Авторы пишут, что, к сожалению, пищевой рацион человека не всегда идеален, и многие люди не получают необходимого количества минеральных веществ как в развитых странах, так и в развивающихся [46 – 50].

Недостаточность потребления микронутриентов, в том числе макро- и микроэлементов, повышает уровень заболеваемости и смертности и создает побочные эффекты на способность обучения, развития и роста у младенцев и детей [51 – 53]. В развивающихся странах зерно и корне-, клубнеплоды – основные продукты питания, они составляют большую часть ежедневного рациона [54].

Население России питается по углеводистому типу, а не белковым и витаминным, как в развитых странах [4], поэтому регулирование и улучшение минерального состава растительной продукции для питания населения должно быть в центре внимания ученых России. Хорошо сбалансированная диета включает разнообразные продукты, в т.ч. растительные (зерно, фрукты и

овощи), через которые ежедневный рацион всех возрастных групп населения существенно дополняется минеральными веществами [55 – 57].

«Риски, состояние окружающей среды и здоровье населения зависят от подвижности и биодоступности некоторых микроэлементов. Поэтому поведение микроэлементов в экосистемах является приоритетной проблемой современных биогеохимических исследований» – пишет А. Кабата-Пендиас [12]. Мировое сельскохозяйственное сообщество должно применять современные технологии для улучшения здоровья человека и его питания [58 – 60].

Стратегия улучшения питательного состава пищевых продуктов растительного происхождения – это попытка обеспечить минеральными элементами продукты питания для людей [58, 60 – 63]. Людям требуется, по крайней мере, 49 питательных элементов для удовлетворения своих метаболических потребностей. Недостаточное потребление хотя бы одного из этих питательных элементов ведет к нарушениям метаболизма, развитию болезней, плохому самочувствию, нарушению развития у детей и большим экономическим затратам общества [64, 31, 32].

Агрохимическое состояние пахотных почв

Из материалов доклада Минсельхоза РФ о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения [8] следует, что результаты агрохимического обследования и локального мониторинга плодородия почв, выполняемых Агрохимической службой с 1964 г., свидетельствуют о деградации земель, которая выражается в ухудшении агрохимических характеристик почв сельскохозяйственных угодий.

Результаты комплексного агроэкологического обследования показывают значительный дефицит микроэлементов для питания растений во многих регионах России, в том числе и в регионах Западной Сибири, в пахотных почвах отмечена подобная ситуация [21, 65 – 70]. Во всех регионах большая площадь почв низко- и среднеобеспеченных Zn, Cu, Mo [71]. Низкое содержание микроэлементов в почвах может быть, по мнению Г.В. Мотузовой [15], следствием прочной фиксации их глинистыми минералами и свободными

окислами, либо миграции в условиях большого количества осадков подвижного органического вещества и кислой реакции почвенной среды.

В 10 субъектах произошло увеличение площадей кислых почв на 1,32 млн га [72]: в Республике Башкортостан кислых почв 340 тыс. га, в Пермской области – 274, в Курганской – 263, в Хабаровском крае – 73 тыс. га, а в Кузбассе общая площадь кислых пахотных почв более 50 % [73].

Исследованиями А.И. Аристархова [74] показано, что на 48 % площади пашни России существует проблема кальциевого питания сельскохозяйственных культур и необходимости ее решения комплексом агрохимических приемов. По содержанию Са почвы классифицируются как почвы с очень низким, низким и средним содержанием.

Для оптимизации кислотности почв необходимо проводить известкование один раз в 5 – 7 лет. Известно, что на известкованных почвах эффективность минеральных удобрений повышается на 20 – 30 %, однако объемы работ по известкованию по РФ в 15 раз значительно меньше от потребности и составляют не более 330 тыс. га в год. Известкование является эффективным приемом для закрепления токсичных элементов в почвах, снижающим их накопление в растениях в 3 – 10 раз.

В СФО пахотные почвы, имеющие среднее содержание подвижного фосфора, занимают площадь 35 %, повышенное – 27 %, высокое и очень высокое – 24, низкое содержание – 14 %. По данным многих авторов высокое содержание P_2O_5 , достигнутое в 80 – 90-е гг., сохраняется и в настоящее время, но наметились тенденции к его снижению. Увеличение содержания подвижного фосфора в пахотных почвах в Кузбассе до 90-х годов связано с применением фосфорных удобрений «в запас». В регионе в почвах содержание подвижного фосфора от среднего до высокого [75].

В.М. Красницкий [68] отмечает уменьшение площади почв с высоким содержанием P_2O_5 в Западной Сибири. И только по содержанию обменного калия в РФ, СФО и юго-востоке Западной Сибири преобладают почвы с повышенным, высоким и очень высоким его содержанием. Нарушения в формировании структуры и размещении сельскохозяйственных угодий в

России привели к снижению устойчивости агроэкосистем к природным и антропогенным факторам, падению их продуктивности и ухудшению качества урожая [4].

Интенсивное антропогенное воздействие на почвенный покров при ведении земледелия в современных условиях оказывает многостороннее воздействие на экосистемы. При воздействии различных агротехнических и агрохимических приемов на почву оптимизируются свойства почв, меняется круговорот веществ, микробиологические процессы [2].

В.И. Кирюшин [9] отмечает, что регулирование круговорота элементов в агроценозах должно быть ориентировано на экологическое применение удобрений с учетом ландшафтного подхода. При использовании удобрений необходимо учитывать рельеф, степень смывости почвы, сток, чтобы не допустить смыва питательных веществ, а также должны учитываться севообороты, обработка почвы, сроки и нормы высева семян и уровень обеспеченности удобрениями.

В настоящее время в земледелии России отмечается увеличение кислотности почв, снижение содержания органического вещества, биогенных элементов и увеличение концентрации тяжелых металлов. Балансы биогенных элементов питания и органического вещества в почвах искусственных экосистем складываются отрицательные. Недостаток потребления биогенных элементов отрицательно сказывается на здоровье людей.

Применение минеральных, органоминеральных и микроудобрений – это один из путей оптимизации минерального питания для повышения продуктивности пашни и улучшения качества получаемой растениеводческой продукции [25, 83 – 86]. Минеральные и органоминеральные, органические удобрения и мелиоранты обычно содержат в качестве примеси микроэлементы и служат одним из источников их поступления в агроэкосистему [87, 88].

Агроэкологическое состояние пахотных почв

Антропогенное загрязнение окружающей среды приводит к увеличению концентрации токсичных микроэлементов (тяжелых металлов) в почвах, а продуктивность пашни в условиях техногенеза, как правило, снижается.

«Техногенез – процесс изменения природных комплексов и биогеоценозов под воздействием производственной деятельности человека» [89], который заключается в преобразовании биосферы, вызываемом совокупностью геохимических процессов.

Геохимическая пространственная неоднородность биосферы – ее характерное свойство [90, 2]. Различными исследованиями показано, что содержание микроэлементов в почвах подвержено значительной вариабельности [10, 91]. В условиях техногенеза закономерно загрязнение биосферы тяжелыми металлами (ТМ). Поступая из различных источников, тяжелые металлы могут накапливаться в почвах и, тем самым, превышать фон [92 – 94, 67].

В почву в современных условиях от антропогенных источников загрязнения поступает от 70 до 95 % всех ТМ, а остальная часть поступает от природных источников. Во всех промышленно развитых районах Российской Федерации (в т.ч. в Кемеровской, Белгородской, Челябинской областях) отмечается загрязнение почв ТМ [95].

По мнению А. Кабата-Пендиас [12] состояние окружающей среды и здоровье населения зависят от подвижности и биодоступности некоторых микроэлементов. Поэтому поведение микроэлементов в экосистемах является приоритетной проблемой современных биогеохимических исследований.

Избыточное содержание ТМ в почвах угнетает рост и развитие растений и происходит частичная или полная потеря урожая; качества продукции [96]. Почва рассматривается как депонирующая среда, в которой накапливаются и преобразуются продукты техногенеза [97]. Почва является мощным барьером, накапливающим металлы. И одной из главных задач является нормирование содержания элементов в почве [98]. Поступая из различных источников, металлы способны накапливаться в почвах в концентрациях, превышающих фоновый уровень [91, 92, 43, 94].

Тяжелые металлы накапливаются, как правило, в верхнем гумусовом горизонте. Период их полуудаления из почвы (выщелачивание, эрозия, хозяйственный вынос, дефляция) в зависимости от типа почвы составляет для

Zn 70 – 510 лет; Cd – 13 – 110 лет; Cu 310 – 1500 лет; Pb 740 – 5900 лет [99]. Ю.А. Духанин [100] отмечает, что тяжелые металлы оказывают существенное влияние на ряд биологических свойств почвы, ее ферментативную активность, процессы аммонификации, нитрификации и др. По мнению В.М. Назарюка [101] загрязнение почв ТМ негативно сказывается на функционировании микробиоценоза.

«Под влиянием растущего загрязнения почва деградирует, а это значит, что ее естественная структура распадается, и почва частично или полностью утрачивает устойчивость к внешнему воздействию. В почвах меняется не только общее содержание химических веществ, но и соотношение их соединений, в том числе соединений загрязняющих веществ» [15].

Для оценки устойчивости ландшафта к трансформации и миграции ТМ проводится почвенно-экологический анализ, при котором выявляются факторы дестабилизации экосистем. Принципы и положения по оценке почв к миграции и трансформации ТМ изложены в работах [102 – 104].

Согласно ГОСТ 17.4.1.02 – 83 [105] химические вещества по опасности подразделяют на три класса: 1 класс – высокоопасные вещества (As, Hg, Cd, Se, Pb, Zn, F, бензо(а)пирен); 2 класс – умеренно опасные вещества (B, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr); 3 класс – малоопасные вещества (Ba, W, V, Mn, Sr). Все вышеперечисленные химические элементы относятся к тяжёлым металлам, плотность которых больше 5000 кг/м^3 . Они расположены в основном в побочных группах таблицы Д.И. Менделеева (их более 40) [106, 99].

Тяжелые металлы при высокой их концентрации оказывают токсическое действие на растения. Некоторые элементы при оптимальной концентрации являются необходимыми для растений как микроэлементы. Источники поступления микроэлементов (ТМ) делятся на природные и техногенные. Природные источники – горные породы, эрозионные процессы и др. Техногенные источники: добыча и переработка полезных ископаемых, выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников и другие антропогенные факторы.

Некоторые исследователи в работах [107, 108] высказывают мнение, что

применение агрохимикатов загрязняет почвы тяжелыми металлами, другие авторы придерживаются противоположной точки зрения [106, 109 – 115]. Минеральные удобрения при применении в оптимальных дозах оказывают положительное влияние на почву и растения. Их применение выполняет важные экологические функции: улучшает свойства почвы, оптимизирует параметры плодородия, снижает поступление в растения тяжелых металлов и радионуклидов, повышает стойкость сельскохозяйственных культур к различным заболеваниям, улучшает качество продукции.

Заключение

Анализ литературных данных показывает, что устойчивость и стабильность агроэкосистем характеризуется продуктивностью агрофитоценозов и зависит от потенциального и эффективного плодородия. Для их оптимизации необходим комплекс мер по восстановлению, сохранению и расширенному воспроизводству плодородия почв, предотвращению их загрязнения, а также сельскохозяйственной продукции. Получение растениеводческой продукции в необходимых количествах с соответствующим качеством по показателям безопасности является важнейшей задачей жизнеобеспечения населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ломакин В.К. Мировая экономика: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 735 с.
2. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учебник для студ. высш. учеб. Заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.
3. Добровольский Г.В. Деграция почв – угроза глобального экологического кризиса // Век глобализации. – 2008. – № 2. – С. 54–65.
4. Милащенко Н.З., Соколов О.А., Брайсон Т., Черников В.А. Устойчивое развитие агроландшафтов. В 2 т. Т. 1. – Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2000. – 316 с.
5. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 30 января 2010 г. – № 120.

6. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2011 году. – Кемерово, 2012. – 479 с.
7. Чекмарев П.А. Об итогах отрасли растениеводства за 2009 г. и мерах по выполнению государственной программы на 2008 – 2012 // Проблемы агрохимии и экологии. –2010. – № 3. – С. 49–54.
8. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2013. – 48 с.
9. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. – М.: «Колос», 1996. – 366 с.
10. Минеев В.Г., Большеева Т.Н. Современные тенденции в изменении плодородия почв России // Журнал Российского химического общества им. Д.Н. Менделеева. – 2005. – Т. XLIX. – С. 5–10.
11. Экологическая оценка взаимодействия удобрений и мелиорантов с почвой / Ю.А. Духанин, В.И. Савич, А.Г. Замараев и др. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 324 с.
12. Кабата-Пендиас А. Проблемы современной биогеохимии микроэлементов // Журнал Российского химического общества им. Д.Н. Менделеева; перевод А.В. Пуховского. – 2005. – Т. XLIX. – № 3. – С. 15–19.
13. Зарицкий П.В. Геохимия (биогеохимия) окружающей среды: программа авторского курса. – Ч. 1. – Харьков, 2003. – 132 с.
14. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. – М.: Наука, 1990. – 261 с.
15. Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: Системная организация, экологическое значение, мониторинг. – 2-е изд. – 2009. – 168 с.
16. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2013. – 48 с.
17. Минеев В.Г. История и состояние агрохимии на рубеже XXI. Т. 2. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 794 с.
18. Присянникова О.И. Пути улучшения баланса элементов питания почвы в системе почвенно–агрохимического районирования // В сб.

Региональной научно-практической конференции. – Красноярск, 2005. С. 82–84.

19. Просянникова О.И. Почвенно-агрохимическое районирование и применение удобрений в Кемеровской области. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2007. – 212 с.

20. Просянников В.И. Микроэлементный состав пахотных почв и эффективность применения микроудобрений в Кемеровской области: науч.-практ. Рекомендации. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2014. – 72 с.

21. Степанова О.И., Просянников В.И., Клевлина Т.П. Баланс основных элементов питания в земледелии Кузбасса // Агрохимический вестник. – 2020. – № 6. – С. 3–6.

22. Лыков А.М. Органическое вещество и плодородие дерново-подзолистой почвы // Земледелие. – 1983. – № 2. – С. 12–15.

23. Андрусиник А.П., Шильников И.А. Эффективность известкования в сочетании с применением высоких доз минеральных удобрений // Агрохимия. – 1979. – № 4. – С. 91–101.

24. Стребков И.М., Кирикой Я.Т. Оптимизация параметров плодородия почв и доз удобрений с помощью метода математического моделирования // Параметры и модели плодородия почв и продуктивности агроценозов. – Пушкино, 1985. С. 135–145.

25. Минеев В.Г. Оптимизация применения удобрений и экологические аспекты современного земледелия // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1987. – № 6. – С. 23–30.

26. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1991. – 150 с.

27. Welch R.M. Effects of nutrient deficiencies on seed production and quality // Advances in Plant Nutrition. – 1986. – Vol. 2. – P. 205–247.

28. Welch R.M., Combs Jr G.F., Duxbury J.M. Toward a Greener revolution // Issues in Science and Technology. – 1997. – Vol. 14. – P. 50–58.

29. Welch R.M., Graham R.D. A new paradigm for world agriculture: meeting human needs Productive, sustainable, nutritious // *Field Crops Research*. – 1999. – Vol. 60. – P. 1–10.
30. Branca F., Ferrari M. Impact of micronutrient deficiencies on growth: the stunting syndrome // *Annals of Nutrition and Metabolism*. – 2002. – Vol. 46 (Suppl 1). – P. 8–17.
31. Golden M.H.N. The nature of nutritional deficiency in relation to growth failure and poverty // *Acta Paediatrica Scandinavica*. – 1991. – Vol. 374. – P. 95–110.
32. Ramakrishnan U., Manjrekar R., Rivera J., Gonzales-Cossio T., Martorell R. Micronutrients and pregnancy outcome: a review of the literature // *Nutrition Research*. – 1999. – Vol. 19. – P. 103–159.
33. FAO / WHO. Preliminary report of recommended nutrient intakes. Joint WHO/FAO Expert Consultation on Human Vitamin and Mineral Requirements – FAO, Bangkok, Thailand (21–30 September), 1998, revised July 13, 2000. Food and Agricultural Organization of the United Nations Rome, Italy and World Health Organization. – Geneva, Switzerland. 1998.
34. Mason J.B., Garcia M. Micronutrient deficiency – the global situation // *SCN News*. – 1993. – Vol. 9. – P. 11–16.
35. World Bank. The challenge of dietary deficiencies of vitamins and minerals // In: *Enriching lives: overcoming vitamin and mineral malnutrition in developing countries*. – Washington DC: World Bank, 1994. P. 6–13.
36. Welch R.M., Combs Jr G.F., Duxbury J.M. Toward a Greener revolution // *Issues in Science and Technology*. – 1997. – Vol. 14. – P. 50–58.
37. Skrivan M., Skrivanova V., Marounek M. Effects of Dietary Zinc, Iron, and Copper in Layer Feed on Distribution of These Elements in Eggs, Liver, Excreta, Soil, and Herbage // *Poultry Science*. – 2005. – Vol. 84. – P. 1570–1575.
38. Grotz N., Fox T., Connolly E., Park W., Guerinot M.L., Eide D. Identification of a family of zinc transporter genes from *Arabidopsis* that respond to zinc deficiency // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 1998. – Vol. 95. – P. 7220–7224.
39. WHO. The world health report 2002. Reducing risks, promoting healthy life. – Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2002. P. 1–168.

40. Mohanna C., Nys Y. Influence of age, sex and cross on body concentrations of trace elements (zinc, iron, copper and manganese) in chickens // Br. Poult. Sci. – 1998. – Vol. 39. – P. 536–543.

41. FAO / WHO. Preliminary report of recommended nutrient intakes. Joint WHO/FAO Expert Consultation on Human Vitamin and Mineral Requirements – FAO, Bangkok, Thailand (21–30 September), 1998, revised July 13, 2000. Food and Agricultural Organization of the United Nations Rome, Italy and World Health Organization. – Geneva, Switzerland. 1998.

42. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. – Л.: Наука, 1974. – 324 с.

43. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

44. Linder M.C. Food quality and its determinants from field to table – growing food, its storage and preparation // In: M Linder (ed) Nutritional biochemistry and Metabolism with clinical applications. – Elsevier, New York, London, 1991. P. 239–254.

45. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service [Электронный ресурс]: USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 14. – Nutrient Data Laboratory Home Page. – 2001: – URL: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp>.

46. Kennedy E., Powell R. Changing eating patterns of American children: a view from // J. Am Coll Nutr. – 1997. – Vol. 16. – P. 524–529.

47. Anonymous: The state of the world's children: a UNICEF report. Malnutrition: causes, consequences and solutions // Nutr Rev. – 1998. – Vol. 56. – P. 115–123.

48. Bates C.J., Prentice A., Cole T.J. et. al. Clarke Micronutrients: highlights and research challenges from the national diet and nutrition survey of people aged 65 years and over // Br J Nutr. – 1999. – Vol. 82. – P. 7–15.

49. Ross M., Welch I., Robin D., Graham R.D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective // J of Experimental Botany. –

2004. – Vol. 55. – No. 396. – P. 353–364.

50. Krebs-Smith S.M., Cleveland L.E., Ballard-Barbash R., Cook D.A., Kahle L.L., Characterizing food intake patterns of American adults // *J Am Clin Nutr.* – 1997. – Vol. 65. – P. 1264–1268.

51. Caballero B. Global patterns of child health: the role of nutrition // *Annuals of Nutrition and Metabolism.* – 2002. – Vol. 46. – P. 3–7.

52. WHO. Malnutrition worldwide [Электронный ресурс]: Geneva, Switzerland: World Health Organization, 1999. – P. 1–13. – URL: http://www.who.int/nutrition/malnutrition_worldwide.html.

53. Graham R.D., Webb M.J. Micronutrients and resistance and tolerance to disease // In *Micronutrients in agriculture. Second Edition*, ed. J.J. Mortwedt, F.R. Cox, L.M. Shuman, R.M. Welch, eds. *Micronutrients in agriculture and ed. Madison.* – WI: Soil Science Society of America, 1991. P. 329–370.

54. Calloway D.H. *Human Nutrition: Food and Micronutrient Relationships* – Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 1995. – 232 p.

55. Dwyer J.T.: Nutritional consequences of vegetarianism // *Ann Rev Nutr.* – 1991. – Vol. 11. – P. 61–91.

56. Dwyer J.T. Vegetarian eating patterns: science, values, and food choices—where do we go from here? *Am J Clin Nutr* 59:1255S–1262S, 1994.

57. American Dietetic Association: Position of the American Dietetic Association: vegetarian diets // *J Am Dietetic Assoc.* – 2002. – Vol. 97. – P. 1317–1321.

58. Bouis H.: Enrichment of food staples through plant breeding: a new strategy for fighting micronutrient malnutrition // *Nutr. Rev.* – 1996. – Vol. 54. – P. 131–137.

59. Ruel M.T., Bouis H.E. Plant breeding: a longterm strategy for the control of zinc deficiency in vulnerable populations // *Am J Clin Nutr.* – 1998. – Vol. 68. – P. 488–494.

60. Michael A., Grusak D. Enhancing Mineral Content in Plant Food Products // *Am J. of the American College of Nutrition.* – 2002. – Vol. 21. – No. 3. – P. 178–183.

61. Graham R.D., Welch R.M. Breeding for Staple Food Crops with High Micronutrient Density-Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 1996. – 262 p.
62. Grusak M.A., Della D. Penna Improving the nutrient composition of plants to enhance human nutrition and health // *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.* – 1999. – Vol. 50. – P. 133–161.
63. Farnham M.W., Simon P.W., Stommel J.R. Improved phytonutrient content through plant genetic improvement // *Nutr Rev.* – 1999. – Vol. 57. – P. 19–26.
64. Branca F., Ferrari M. Impact of micronutrient deficiencies on growth: the stunting syndrome // *Annuals of Nutrition and Metabolism.* – 2002. – Vol. 46 (Suppl 1). – P. 8–17.
65. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1991. – 150 с.
66. Сысо А.И. Эколого–биохимические исследования в Западной Сибири // *Наука в Сибири.* – 2001. – № 20 (2306) [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sbras.ru/HBC/article.phtml?nid=47&id=8>.
67. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.
68. Красницкий В.М. Эколого-агрохимическая оценка плодородия почв и эффективности применения удобрений Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра. с.-х. наук: 06.01.04. – Омск, 2002. – 52 с.
69. Просянникова О.И. Агрохимические параметры деградации почв Кемеровской области: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04. – Кемерово, 2004. – 162 с.
70. Просянников В.И. Тяжелые металлы в почвах Кемеровской области // матер. межрег. науч-практ. конф. «Агрохимия: наука и производство». – Кемерово, 2004. С. 5–7.
71. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах. – М.: ЦИНАО, 2000. С. 303–350.

72. Чекмарев П.А. О воспроизводстве плодородия почв и рациональном использовании минеральных удобрений // Проблемы агрохимии и экологии. – 2009. – № 3. – С. 52–55.
73. Степанова О.И., Просяников В.И. Кислотность пахотных почв и эффективность известкования в Кемеровской области // Агрохимический вестник. – 2019. – № 3. – С. 37–40.
74. Аристархов А.Н. Питание растений кальцием в Нечерноземье // Плодородие. – 2002. – № 1. – С. 22–24.
75. Просяникова О.И. Почвенно-агрохимическое районирование и применение удобрений в Кемеровской области. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2007. – 212 с.
76. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. – М.: Наука, 1990. – 261 с.
77. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2011 году. – Кемерово, 2012. – 479 с.
78. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2013. – 48 с.
79. Подколзин А.И. Эволюция, воспроизводство плодородия почв, и оптимизация применения удобрений в агроландшафтах Центрального Предкавказья: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 06.01.04. – М., 2008. – 54 с.
80. Просяников В.И., Просяникова О.И. Динамика основных агрохимических показателей пахотных почв земель сельскохозяйственного назначения Кемеровской области // Плодородие. – 2014. – № 2. – С. 37–39.
81. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2011 году. – Кемерово, 2012. – 479 с.
82. Просяникова, О.И. Динамика кислотности в почвах локального мониторинга // Плодородие. – 2005. – № 6. – С. 2–4.
83. Минеев В.Г., Панников В.Д. Эффективность удобрений в длительных опытах // Агрохимия. – 1976. – № 6. – С. 27–30.
84. Алексеев Ю.В. Качество растениеводческой продукции. – Л.: Изд-во «Колос» Ленинградское отделение, 1978. – 255 с.

85. Никитишен В.И. Эколого-агрохимические основы сбалансированного применения удобрений в адаптивном земледелии. – М.: Наука, 2003. – 183 с.
86. Ермохин Ю.И., Синдирева А.В. Основные критерии агроэкологической оценки действия микроэлементов в системе почва – растение – животное // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 3. – С. 19–21.
87. Минеев В.Г. Агрехимия. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 719 с.
88. Ягодин Б.А., Смирнов А.В., Петербургский П.М. и др. Агрехимия; под ред. академика ВАСХНИЛ Б.А. Ягодина. – 2-ое изд. перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 639 с.
89. ГОСТ 17.5.1.01 – 83 «Охрана природы. Рекультивация земель». – М.: Изд-во стандартов, 1984. С. 1–3.
90. Войтович Г.В., Кокин А.В. Справочник по геохимии. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
91. Орлова А.Н., Сухорукова Л.А. Пространственное варьирование агрохимических показателей почв и сравнение величин погрешности отбора проб и погрешности аналитического определения // В сб.: VI Междунар. конф. «Современное приборное обеспечение и методы анализа почв, кормов, растений и сельскохозяйственного сырья», 2008. С. 1–16.
92. Орлов Д.С., Мотузова Г.В. Химическое загрязнение почв и их охрана // Словарь-справочник. – М.: «Агропромиздат», 1991. – 280 с.
93. Плеханова И.О., Савельева В.А. Трансформация соединений кобальта в почвах при увлажнении // Почвоведение. – 2000. – № 6. – С. 754–759.
94. Геблосева А.Х., Абаев А.А., Казаченко И.Г. Содержание ТМ (Cd, Pb и Zn) // Деградация почвенного покрова и проблемы агроландшафтного земледелия: матер. первой Междунар. науч. конф. – Ставрополь, 2001. С. 263–264.
95. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России / Под ред. академиков

- Россельхозакадемии А.В. Гордеева, Г.А. Романенко. – М.: Росинформагротех, 2008. – 67 с.
96. Землепользование – Западная Сибирь. Почвы – Охрана Западная Сибирь / С.С. Трофимов, В.И. Щербинин, В.В. Реймхе и др. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1989. – 223 с.
97. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
98. Шеуджен А.Х. Биогеохимия. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
99. Тяжёлые металлы в почвах и растениях и их аналитический контроль / Э.А. Александрова, Н.А. Гайдукова, Н.Г. Кошеленко и др. – Краснодар: КГАУ, 2001. С. 6–11.
100. Духанин Ю.А. Агрохимия, биология и экология песчаных и супесчаных почв. – М.: ФГНУ «Росинфомагротех», 2003. – 239 с.
101. Назарюк В.М. Эколого-агрохимические и генетические проблемы регулируемых агроэкосистем/ – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 235 с.
102. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта/ – М.: Астрель–2000, 1999. – 762 с.
103. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. – М.: Высшая школа, 1998. – 413 с.
104. Орлов Д.С., Василевская В.Д. Почвенно-экологический мониторинг. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 272 с.
105. ГОСТ 17.4.1.02 – 83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.– М.: Изд-во стандартов, 1983. – 2 с.
106. Овчаренко М.М. Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение. – М., 1997. – 290 с.
107. Ермохин Ю.И. Агрохимия вчера, сегодня, завтра: монография. – Омск: ОмСХИ, 2001. – 64 с.

108. Касицкий Ю.И., Игнатов В.Г. и др. Результаты применения агрохимических средств в длительном опыте // Плодородие. – 2004. – № 2 (17). – С. 23–25.
109. Овчаренко М.М. Тяжелые металлы в системе почва растение–удобрение // Химия в сельском хозяйстве. – 1995. – № 4. – С. 8–10.
110. Потатуева Ю.А., Каслецкий А.Д., Хлыстовский Ю.И. Влияние длительного применения фосфорных удобрений на накопление в почве и растениях тяжелых металлов // Агрохимия. – 1994. – № 11. – С. 98–113.
111. Потатуева Ю.А., Сидоренко Н.К. Агроэкологическое значение примесей тяжелых металлов и токсичных элементов в удобрениях // Агрохимия. – 2002. – № 1. – С. 85–95.
112. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах. – М.: ЦИНАО, 2000. С. 303–350.
113. Аристархов А.Н. Питание растений кальцием в Нечерноземье // Плодородие. – 2002. – № 1. – С. 22–24.
114. Парасюта А.Н., Столяров А.И., Суетов В.П. Влияние многолетнего применения удобрений на накопление тяжелых металлов в черноземе выщелоченном // Агрохимия. – 2000. – № 11. – С. 62–65.
115. Подколзин А.И. Микроэлементы в земледелии Юга России. – Ставрополь: ГУП «Ставропольская краевая типография», 2002. – 352 с.

БИОМЕДИЦИНА И ЭКОЛОГИЯ

УДК 614

В.В. Агаджанян, И.М. Устьянцева, С.А Кравцов, А.А. Пронских,

А.А. Милюков, А.В. Новокшенов, Л.М. Афанасьев

НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ, ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ГАОУЗ «Кузбасский клинический центр охраны здоровья шахтеров»

г. Ленинск-Кузнецкий

Сохранение из года в год инновационного развития науки и практики, традиций высокого уровня медицинской помощи, постоянное стремление подняться на ступень выше прошлых достижений – эти характеристики всегда относили центр охраны здоровья шахтеров в разряд лидирующих учреждений здравоохранения региона.

Уникальность работы учреждения заключается в том, что разработанные в стенах клиники инновационные научно-практические технологии позволили создать единую комплексную систему оказания медицинской помощи жителям Кузбасса. В Центре осуществляется полный цикл диагностики и лечения, включающий амбулаторно-консультативный прием, стационарный этап лечения с использованием всех подразделений больницы, включая отделение реабилитации и восстановительного лечения.

Обеспечение замкнутого цикла оказания медицинской помощи осуществляется благодаря наличию в Центре:

- врачей – специалистов по всем основным медицинским специальностям: хирургия, травматология и ортопедия, нейрохирургия, кардиология, гинекология, детская хирургия, анестезиология и реанимация;

- расширенной современной диагностической базе, включающей в себя лучевую, лабораторную и функциональную диагностику.

Все это способствует сокращению сроков оказания медицинской помощи жителям Кузбасса.

В стенах клиники впервые разработаны и внедрены новые технологии, которые прошли апробацию и показали высокую клиническую эффективность.

Приоритетным направлением работы Центра является оказание экстренной и специализированной медицинской помощи пострадавшим с

политравмой, разработка новых методов диагностики и лечения политравм.

Впервые в России на базе центра разработана и внедрена **система оказания специализированной медицинской помощи пациентам с политравмой (множественной и сочетанной травмой)** с учетом региональных особенностей Кузбасса. Предложенная и апробированная в Кузбассе на базе центра оптимизированная комплексная организационная и лечебно-диагностическая система оказания медицинской помощи при политравмах с внедрением новых медицинских технологий позволила достигнуть положительных функциональных результатов в 90 %, сократить сроки стационарного лечения на 20 %, существенно снизить летальность от политравм (в два раза до 15 %), уменьшить первичную инвалидность на 20 %.

В Центре разработана и внедрена **инновационная технология оказания экстренной помощи пострадавшим на производстве угольных предприятий**. Для этого в Центре создана служба медицинской эвакуации, оснащенная 8 современными реанимобилями, оборудованными медицинской аппаратурой, позволяющей поддерживать жизнеобеспечение важных органов и систем пациента во время движения на расстоянии до 500 км. Медицинская эвакуация пациентов производится из других медицинских организаций и с мест техногенных аварий. Медицинская эвакуация на расстояние более 1000 км осуществляется с привлечением авиации. На территории центра имеется вертолетная площадка для экстренного принятия пострадавших.

За последние 5 лет с 19 шахтовых техногенных аварий («Юбилейная», «Распадская», «Первомайская» и другие) доставлены в Центр 150 пострадавших шахтеров. Из лечебных учреждений Кузбасса транспортировано более 1000 пациентов (работников угольных предприятий, членов их семей) в ранние сроки после травмы.

Отделением медицинской эвакуации было доставлено 3750 пострадавших с политравмой, из них с производственными травмами – 1692 пострадавших, в том числе из республик: Хакасия, Тыва, Алтайского края 10 пострадавших.

Ежегодно отделение медицинской эвакуации транспортирует и оказывает медицинскую помощь более 300 пострадавшим с производственными

травмами.

В центре широко внедрена **система профилактических мероприятий профессиональных и производственно-обусловленных заболеваний у работников угольной промышленности Кузбасса**, которая включает:

- комплексную диагностику профессиональных заболеваний, лечения, реабилитации и диспансеризацию работников угольной отрасли;
- учет и анализ профессиональной заболеваемости у шахтеров в регионе;
- контроль за качеством проведения предварительных и периодических медицинских осмотров в угольной отрасли региона;
- разработку мероприятий по профилактике и снижению профессиональной заболеваемости в регионе.

Ежегодно в амбулаторных условиях центра профпатологии проходит свыше 12 тысяч шахтеров. Стационарную медицинскую помощь за год получили более 1300 шахтеров.

В результате деятельности центра профпатологии достигнуто снижение уровня профессиональной заболеваемости в угольной отрасли на 20 %, стабилизирован уровень профессиональной заболеваемости в регионе.

Центр успешно внедряет в повседневную практику высокотехнологичные методы лечения с использованием последних достижений науки и техники.

В Центре **разработана и внедрена программа по оказанию высокотехнологичной медицинской помощи по профилю «травматологии и ортопедия»**, которая включает реконструктивно-пластические операции при дефектах и пороках развития костей конечности; эндопротезирование тазобедренных и коленных суставов; реплантации конечностей; реконструктивно-восстановительные операции с использованием эндоскопических технологий при повреждениях и заболеваниях суставов; **по профилю «нейрохирургия»** (микрохирургическое удаление новообразований головного и спинного мозга; микрохирургические вмешательства при поражениях периферических нервов с интраоперационным нейрофизиологическим контролем; реконструктивные вмешательства при дефектах и пороках развития лицевого скелета со стереолитографическим и

компьютерным моделированием; микрохирургические и эндоскопические вмешательства при поражениях межпозвонковых дисков шейного и грудного отделов; по профилю «акушерство и гинекология» (реконструктивно-пластические операции при распространенном эндометриозе; хирургическое лечение при опухолях и пороках развития гениталий и мочевыделительной системы; хирургическое восстановление фертильности при синдроме поликистозных яичников). В год врачи отделения проводят в общей сложности около 800 малоинвазивных органосохраняющих операций, из которых 650 – по поводу бесплодия. Практика показала, что примерно у 50 % женщин после оперативного лечения наступает беременность.

Впервые в Кузбассе (2001 г.) разработана, внедрена и постоянно совершенствуется **система персонифицированного обеспечения пациентов лекарственными средствами**. Это позволило контролировать использование дорогостоящих медицинских препаратов и сэкономить 20 % денежных средств, достигнуть адресности лекарственной помощи для каждого пациента.

Опыт ГАУЗ КО ОКЦОЗШ в персонифицированном обеспечении лекарственных средств пациентам распространен и внедрен в систему в учреждениях здравоохранения Кузбасса (ГКБ № 1 г.Новокузнецк, ОКБ № 1 г. Кемерово, Областной перинатальный центр г. Кемерово, ГКБ № 3 г. Кемерово и другие), а также в лечебных учреждениях г. Самара, г. Нижний Новгород, г. Пермь, г. Омск, г. Барнаул, г. Иркутск.

Разработана и внедрена (2001 г.) **система менеджмента качества** применительно к оказанию экстренной и плановой стационарной и амбулаторно-поликлинической медицинской помощи в соответствии с требованиями международного стандарта ИСО 9001:2008. Сертификат соответствия, регистрационный № РОСС RU.ИФ09.К00006.

В 2000 г. разработана и внедрена **медицинская информационная система (МИС) ОКЦОЗШ и «электронная история болезни»**. Программное обеспечение единой внутрибольничной медицинской информационно-аналитической системы с включением локальных информационных систем (лабораторной, функциональной и лучевой диагностики) позволяет получать,

хранить, анализировать истории болезни, а также учитывать все затраты на лечение каждого пациента.

Клинико-диагностическая лаборатория центра – единственная лаборатория в Кузбассе, где впервые с 2008 г. **разработана, внедрена и постоянно совершенствуется инновационная технология автоматизации клинико-диагностической лаборатории с помощью лабораторной информационной системы (ЛИС)**, что позволило повысить производительность и экономическую эффективность лаборатории.

Сотрудниками центра **разработаны и внедрены в практику инновационные технологии лабораторной диагностики** для оценки выраженности системной воспалительной реакции, сепсиса при критических состояниях (10 Патентов РФ), в том числе и у пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19.

Пандемия COVID-19 заставила медицинское сообщество пересмотреть многие устоявшиеся взгляды, в том числе и на лабораторную диагностику.

Благодаря огромному опыту и потенциальным возможностям учреждения в организации оказания качественной, своевременной медицинской помощи, современной материально-технической базе диагностического оборудования, постоянному совершенствованию и внедрению инновационных производственных, цифровых технологий, высокопрофессиональных кадров, в клинико-диагностической лаборатории в период с марта по декабрь 2020 года было выполнено более 100 тысяч ПЦР-исследований РНК-SARS-CoV-2.

Совместно с ФГБУ "Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт») и ФГБУН «Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук» (НИОХ СО РАН) проводятся научные исследования по **созданию отечественных материалов**, которые сами разлагаются в организме пациента. Это очень важно для хирургов, травматологов, потому что отпадает необходимость делать

повторные операции для того, чтобы изъять какие-либо фиксирующие, удерживающие конструкции. Они сами рассосались – и пациент здоров!

Под руководством ученых в 2008 году создано первое в России **импортозамещающее производство рентгено-контрастных операционных салфеток**. Ведь, к сожалению, существуют случаи, когда привычные всем марлевые салфетки оставляются во время операции в теле пациента. Теперь же, если такое и произойдет, специальная вшитая в салфетку нить обязательно проявится на снимке при выполнении обследования, и пациенту своевременно окажут помощь.

В 2016 году в центре разработана и внедрена в практику научно-обоснованная система **«Безопасность пациентов»** по профилактике внутрибольничных инфекций. Эта система базируется на стандартах системы эпидемиологического надзора, мониторинге возбудителей, разработке стратегии и тактики применения антибиотиков и оценке экономической эффективности и противоэпидемических и профилактических мероприятий. Она помогает защитить пациентов от внутрибольничных инфекций. Так, всем известно обязательное требование к каждому медработнику – чистые руки. Именно поэтому у дверей всех отделений центра размещены бесконтактные сенсорные дозаторы. К такому устройству только стоит поднести руки и моментально на них впрыскивается дезинфицирующее средство. А небольшие флаконы-распылители с этой же жидкостью есть в кармане каждого работника и у коек пациентов.

В 2016 году в центре разработана и внедрена в практику система **«Госпитальная логистика»** – это внутрибольничная система управления централизованными платформами (электрокары – маневренные, легко управляемые одним человеком, электрические тележки) для доставки питания, медикаментов, дезинфекционных средств, хозяйственных товаров в структурные подразделения клинического центра. Была составлена «дорожная карта», в которой маршруты расписаны поминутно для бесперебойной работы. Специалисты подсчитали, что внутри больницы приходится перевозить порядка 20 т грузов в день на общее расстояние до 50 км. Это позволило

значительно сэкономить время и трудозатраты при доставке питания, медикаментов, хозяйственных средств.

В центре разработана и внедрена система **«Утилизация отходов медицинского происхождения»** с помощью специального устройства, которое позволяет утилизировать операционное белье, халаты, бахилы и т.д. (Патент РФ № 2430798 РФ от 10.10.2011). В 2019 г. разработано **«Устройство для профилактики и лечения пролежней»** (Патент РФ № 2692665 РФ от 21.06.2018).

Достоянием центра является **научно-практический рецензируемый журнал «Политравма/Polytrauma»** (ISSN: 1819-1495 (print), E-ISSN: 2541-867X (online)) – первое в России и СНГ издание, посвященное лечению взрослых и детей с политравмой, для клиницистов, научных работников и руководителей органов здравоохранения.

Журнал «Политравма/Polytrauma» - единственное научное медицинское издание за Уралом, включенное в международную базу данных Scopus, которое осуществляет редакционную политику согласно мировым стандартам. В редакционную коллегию входят 53 ведущих ученых и клиницистов национальных и зарубежных клиник.

Журнал издается с 2006 года на русском и английском языках, включен в перечень изданий, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертационных работ на соискание ученой степени доктора и кандидата медицинских наук по клинической медицине и медико-биологическим наукам, реферируется РЖ ВИНТИ, индексируется в Российских и международных базах данных: Российский индекс научного цитирования (**РИНЦ**), **Scopus, Ulrich's International Periodicals Directory, WorldCat, BASE, Open Archives.**

Журнал «Политравма/Polytrauma» — крупнейшая в Евразии международная площадка, осуществляющая сотрудничество в сфере науки, образования и практического здравоохранения по вопросам травматологии, ортопедии, хирургии, нейрохирургии, анестезиологии и реаниматологии, которая объединяет более 5000 гражданских и военных медицинских

специалистов из стран СНГ, Азиатско-Тихоокеанского региона, Южной Азии, Ближнего Востока, Европы и Америки.

Значимыми интеллектуальными доминантами центра являются 8 докторов и 28 кандидатов медицинских наук. На базе центра подготовлены и защищены 13 докторских и 81 кандидатская диссертация, опубликовано 7 монографий, свыше 4500 научных работ, получено 145 Патента РФ, совместно с Президиумом СО РАН организована и проведена 21 Всероссийская научно-практическая конференция, материалы которых изданы в виде ежегодных Сборников материалов конференций с 1996 по 2018 гг. (ISBN 978-5-904-430-18-4). Результаты научно-практической работы регулярно докладываются сотрудниками центра на врачебных форумах различного уровня: от российского до международного.

Центр является учебной базой, где действует кафедра последипломного образования «Интегративной травматологии» ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Минздрава России, которая была создана в 1998 г. для осуществления последипломного образования врачей РФ и СНГ по травматологии, ортопедии и смежным медицинским дисциплинам.

Библиотека центра была создана в 1993 году. Сегодня библиотека является основным книжным хранилищем медицинской и художественной литературы г. Ленинск-Кузнецкого. Книжный фонд насчитывает более 32 тысяч экземпляров: более 14 тысяч медицинских книг, 17 тысяч медицинских журналов на разных языках.

В центре разработана **программа, направленная на улучшение пребывания пациента в стационаре:** реконструкция палат, организация индивидуального питания пациентов, фирменная спецодежда, дисциплинированность персонала, соблюдение этических норм. Специально для пациентов, прямо через дорогу от больницы, создана бесплатная, благоустроенная автостоянка. Уютная садово-парковая зона с 4 фонтанами создает условия для отдыха и скорейшего выздоровления пациентов.

Картинная галерея центра насчитывает около 300 экземпляров.

Многочисленные картины, рисунки, фотографии, произведения из керамики размещены в отделениях, холлах и коридорах центра. Среди их авторов как известные художники, так и любители, благодарные пациенты. Коллекция постоянно пополняется, многие из работ были подарены центру.

Сегодня пациентам недостаточно знаний о передовых технологиях, современных методиках лечения и зарубежном оборудовании. Само по себе название «Центр охраны здоровья шахтеров» говорит о том, что эта клиника надежна и стабильна, и ей можно доверять.

УДК: 616.8:617.5

А.В. Новокшионов^{1,2}, О.А. Якушин^{1,2}

**ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ
ПРИ ТРАВМЕ ПОЗВОНОЧНИКА И СПИННОГО МОЗГА
В ОСТРОМ ПЕРИОДЕ**

¹ *ГАОУЗ «Кузбасский клинический центр охраны здоровья шахтеров»,
г. Ленинск-Кузнецкий*

² *ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии
и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Министерства здравоохранения Российской
Федерации, г. Новосибирск*

По определению экспертов комитета Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) медицинская реабилитация – это активный процесс, целью которого является достижение полного восстановления нарушенных вследствие заболевания или травмы функций, а в случае невозможности достижения этого – развитие компенсаторных и заместительных приспособлений (функций) [1 – 3].

Реабилитационные мероприятия у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой начинаются с момента поступления в приемное отделение и включают два основных взаимодополняющих комплекса: хирургическое и восстановительное лечение.

Хирургическая реабилитация пострадавших с повреждениями позвоночника и спинного мозга направлена на раннее устранение сдавливающих факторов (удаление костных отломков из спинномозгового канала, травматических грыж межпозвонковых дисков). Стабилизация поврежденных позвоночных двигательных сегментов с использованием различных стабилизирующих систем, восстановление кровотока в спинном мозге и ликвороциркуляции, то есть создание условий для дальнейшего процесса восстановления проведения по сохранившимся проводниковым путям спинного мозга.

Главной и основной задачей восстановительного лечения пациентов с травматической болезнью спинного мозга заключается в активизации движений, профилактике развития трофических нарушений и как следствие полное или частичное восстановление двигательной активности пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой.

Общие принципы восстановительного лечения у больных с травматической болезнью спинного мозга

В современной нейрохирургической и травматологической практике, где благодаря активному внедрению новых принципов микронейрохирургии, реанимации и интенсивной терапии объектом реабилитации становится наиболее тяжелый контингент больных с повреждениями спинного мозга, выделяется направление реабилитации, проводимой в раннем послеоперационном периоде.

Представления об остром периоде тяжелой травмы на сегодняшний день основаны на принципиально новых концепциях понимания патофизиологических процессов, протекающих в организме больного с момента получения травмы. Механизмами саногенеза, обеспечивающими у пациентов с травматической болезнью спинного мозга восстановление нарушенных функций, личного и социального статуса, являются реституция, регенерации и компенсация, соответствующие различным периодам течения травматической болезни спинного мозга [4, 5].

Регенерация – это структурно-функциональное восстановление целостности поврежденных тканей и органов за счет роста и размножения специфических элементов ткани. При этом некоторые физические факторы способны оказывать решающее влияние на механизмы регенерации. Реституция – это процесс восстановления проведения возбуждения по сохранившимся проводникам спинного мозга, которое возможно выявить в ранние сроки после травмы, а также в позднем периоде восстановительного лечения, если проводники не функционировали из-за дистрофических процессов, развившихся в спинном мозге. Под термином компенсация подразумевают процесс, объединяющий сложные и многообразные реакции по функциональному замещению утраченных или недостающих функций. В процессе компенсации нарушенных функций организм человека использует сложный комплекс различных реакций, обеспечивающих наибольшую степень управляемости сегментами тела [5].

Из трех основных саногенетических механизмов в остром и раннем периоде происходит спонтанное осуществление таких процессов, как регенерация и реституция, поскольку процессы компенсации возникают на более поздних стадиях течения травматической болезни спинного мозга.

В настоящее время в соответствии с представлениями о патофизиологических механизмах течения травматической болезни, уровнях организации движений, определены методы, способы и основные приемы двигательной терапии. Также определены основные принципы нейрореабилитации, на которых строится восстановительное лечение нейрохирургических больных: раннее начало, как только позволяет соматическое состояние пострадавшего; комплексность применения всех доступных реабилитационных мероприятий; индивидуальность программы реабилитации, этапность, непрерывность и преемственность реабилитации на всех проводимых этапах; социальная направленность; использование методов контроля адекватности нагрузок и эффективности реабилитации [4].

В условиях крупных городов необходимо создание трехэтапной системы реабилитации: хирургический стационар – специализированный

восстановительный центр – амбулаторный восстановительный центр. При этом основную роль по значимости и эффективности восстановлению утраченных функций отводится первому стационарному этапу лечения,

Восстановительное лечение в остром периоде: методы и средства реабилитации

В остром периоде травмы спинного мозга больные полностью или частично утрачивают двигательную активность в течение длительного периода времени. В результате развиваются мышечные гипотрофии, нарушается крово- и лимфообращение, функция дыхания и органов малого таза. Вследствие этого снижаются обменные процессы в организме больного, уменьшается количество кальция, развиваются нейротрофические нарушения тканей, контрактуры суставов конечностей, которые развиваются в обездвиженных суставах в зависимости от уровня повреждения спинного мозга. В условиях длительного обездвиживания больного контрактуры крупных и мелких суставов развиваются и в непораженных сегментах конечностей [5].

Основными задачами раннего восстановительного периода являются: улучшение общего состояния пострадавшего, предупреждение осложнений со стороны сердечно-сосудистой и дыхательной систем, стимуляция периферической гемодинамики и тканевого дыхания. Предотвращение развития гипостатических суставных и мышечных контрактур, трофических нарушений покровных тканей.

Длительность раннего восстановительного периода в среднем составляет до двух недель. В лечебно-восстановительном процессе у больных с травматической болезнью спинного мозга ведущая роль отводится лечебной физкультуре в совокупности с физиотерапевтическими процедурами. Задачи раннего восстановительного периода решаются различными средствами физиологического воздействия. Активизация сокращения межреберных мышц, восстановление рефлекторных дыхательных движений, усиление рецепторного дыхательного аппарата, усиление акта выхода достигается применением пассивной дыхательной гимнастики в сочетании с перкуторным или вибрационным массажем грудной клетки. Для предотвращения развития

атрофических процессов в мышцах, профилактики тугоподвижности в суставах и формирования позиционных контрактур и трофических нарушений покровных тканей применяются пассивные и активные гимнастические упражнения для конечностей, туловища с ограниченным объемом и амплитудой движений, периодическое изменение положения тела больного в горизонтальной плоскости, повороты на бок с использованием поддерживающих систем. Специальные методики проведения лечебной гимнастики предусматривают постепенное увеличение объема и амплитуды выполняемых движений, а многократное повторение специально подобранных упражнений ведет к улучшению возбуждения мышечных волокон, усиливая нервные импульсы в мотонейронах спинного мозга, и к восстановлению функции нервных двигательных цепей. На этом этапе широко применяются методы физиотерапевтического воздействия, в частности электростимуляция мышц грудной клетки и конечностей. Использование общеукрепляющего массажа ведет к улучшению кровоснабжения тканей и органов, общего состояния больного и предотвращению развития трофических нарушений. Последним этапом раннего восстановительного периода являются мероприятия, направленные на профилактику гемодинамических реакций на этапах подготовки к постепенной вертикализации пострадавших.

Комплексное лечение больных с позвоночно-спинномозговой травмой включает оперативное лечение, направленное на восстановление анатомии позвоночного канала, ликвороциркуляции и создания условий для дальнейшего восстановления или выработки новых навыков и функций, утраченных в результате полученных повреждений.

Восстановительное лечение у больных с травмой позвоночника и спинного мозга разделяли на два этапа и начинали с 3-х или 5-х суток после проведения всего комплекса необходимых оперативных вмешательств. Первый этап восстановительного лечения проводили в отделении реанимации и интенсивной терапии, в среднем его длительность составила от двух до трех недель. Второй этап интенсивного восстановительного лечения проводили в условиях профильного отделения, его длительность в среднем составила от

трех недель и более. Реабилитационные мероприятия проводили по индивидуально разработанным программам в зависимости от уровня и тяжести полученных повреждений, общего состояния пострадавших, выраженности неврологических нарушений и объема хирургического лечения. Длительность каждого этапа восстановительного лечения у всех пациентов была различна.

Заключение

Комплексное лечение больных с позвоночно-спинномозговой травмой включает оперативное лечение, направленное на восстановление анатомии позвоночного канала, ликвороциркуляции и создания условий для дальнейшего восстановления или выработки новых навыков и функций, утраченных в результате полученных повреждений.

Восстановительное лечение целесообразно начинать с 2 – 3 суток после проведенных оперативных вмешательств по индивидуальным программам реабилитации с использованием всех доступных лечебно-восстановительных мероприятий и с соблюдением этапности, непрерывности и преемственности реабилитации на всех проводимых этапах.

Разработка индивидуальных программ реабилитации больных с травмой спинного мозга основывается на оценке общего состояния пострадавшего, степени тяжести повреждений позвоночника, выраженности неврологических нарушений и объема выполненных оперативных вмешательств.

Комплексное лечение больных с позвоночно-спинномозговой травмой позволило уменьшить количество осложнений на стационарном этапе, добиться улучшения функциональных результатов лечения и повышения уровня независимости в повседневной жизнедеятельности больных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белова А.Н. Нейрореабилитация: руководство для врачей. – М.: Антидор, 2002. – 736 с.
2. Епифанов В.А. Медицинская реабилитация: руководство для врачей. – М.: Медпресс-информ, 2005. – 328 с.
3. Буренина И.А. Методологические основы современной реабилитации (клинические лекции) // Вестник современной клинической медицины. – 2008.

– Т. 1. – Вып. 1. – С. 88–92.

4. Реабилитация при заболеваниях и повреждениях нервной системы / К.В. Котенко, В.А. Епифанов, А.В. Епифанов, Н.Б. Корчажкина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 656 с.

5. Епифанов В.А., Епифанов А.В. Восстановительное лечение при заболеваниях и повреждениях позвоночника. – М.: Медпресс-информ, 2008. – 384 с.

УДК: 617.5 – 004.6

О.А. Якушин^{1,2}, А.В. Новокшионов^{1,2}

ОСЛОЖЕНИЯ У БОЛЬНЫХ В ОСТРОМ ПЕРИОДЕ ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМЫ

¹ *ГАУЗ «Кузбасский клинический центр охраны здоровья шахтеров»,*

г. Ленинск-Кузнецкий

² *ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии
и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Министерства здравоохранения Российской*

Федерации, г. Новосибирск

Осложнения, развивающиеся на этапе лечения, регистрируются у 54 – 82 % пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой (ПСМТ) [1, 2]. В структуре регистрируемых объективных осложнений у пациентов с ПСМТ первое место занимают нейротрофические нарушения (пролежни), достигая 80 % случаев [3 – 5] и за счет прогрессирования сепсиса в 7 – 20 % наблюдений, являются причиной летальных исходов [4, 6]. На втором месте по частоте развития выделяют сосудистые осложнения, регистрируемые в 49 – 72 % наблюдений. Сосудистые нарушения у 4,6 % больных являются причиной развития тромбоэмболии легочной артерии [7]. Осложнения со стороны системы дыхания составляют около 64 % случаев [8, 9].

Цель настоящей работы: провести анализ структуры и частоты развития осложнений, обусловленных особенностями течения травматической болезни спинного мозга у пациентов в остром периоде спинальной травмы на этапе

оказания специализированной медицинской помощи.

Материал и методы

Выполнен ретроспективный анализ медицинской документации 306 пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой в остром периоде, проходивших лечение в нейрохирургических отделениях ГАУЗ ККЦОЗШ г. Ленинска-Кузнецкого за период 2000 – 2017 годов. Общая характеристика клинического материала представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Общая характеристика клинического материала (n = 306)

Критерии		Изолированная ПСМТ (n = 195)*	ПСМТ при сочетанной травме (n = 111)#
Пол	Мужской	162 (83,1%)	84 (75,7%)
	Женский	33 (16,6%)	27 (24,3%)
Средний возраст пострадавших (годы)		36,05±13,01	36,44±13,34
Время поступления от момента травмы	В течение первых 24 часов	134 (68,7%)	77 (69,4%)
	> 24 часов	61 (31,3%)	34 (30,6%)
Локализация травмы	Шейный	98 (50,3%)	30 (27,1%)
	Грудной	34 (17,4%)	46 (41,4%)
	Поясничный	63 (32,3%)	35 (31,5%)
Степень нарушения проводимости по спинному мозгу	А	73 (37,4%)	67 (60,4%)
	В	14 (7,2%)	9 (8,1%)
	С	34 (17,4%)	14 (12,6%)
	Д	51 (26,2%)	14 (12,6%)
	Е	23 (11,8%)	7 (6,3%)
ISS (баллы)		22,57±4,7	40,62±12,1
Араче III (баллы)		41,3±12,3	42,1±19,9
* – от всех пролеченных больных с изолированной ПСМТ;			
# – от всех пролеченных больных с сочетанной травмой			

Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием пакета прикладных статистических программ для персональных компьютерных систем в версии 21 «IBM SPSS Statistics 21» (Statistical Product and Service Solutions – SPSS). В ходе изучения полученного материала использованы параметрические и непараметрические методы статистического анализа.

Результаты

По результатам проведенного анализа из общей выборки пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой осложнения, носящих объективный характер, выявлены в 84 наблюдениях, что составило 27,4 % от всех

пролеченных пациентов в остром периоде спинальной травмы. Структура и частота развития осложнений отражена в табл. 2.

Необходимо отметить, что развившиеся осложнения на этапе стационарного лечения в 47 (15,3%) случаях не оказали существенного влияния на тактику лечения и дальнейший функциональный результат, но в значительной степени повлияли на увеличение сроков лечения. У 26 (8,49%) больных выявленные осложнения потребовали проведения дополнительных оперативных вмешательств.

Таблица 2 – Частота и структура выявленных осложнений на этапе стационарного лечения

Осложнения	n (абс.)	%*
Пролежни	19	6,2
Гнойно-септические	20	6,5
Локальная инфекция	2	0,7
Сосудистые	23	7,5
Сочетание осложнений	20	6,5
Итого	84	27,4
* – от всех пролеченных больных с ПСМТ		

Проведенный анализ частоты развития осложнений выявил следующую закономерность. Мы не получили статистически достоверного подтверждения гипотезы развития осложнений от времени получения травмы до поступления в специализированный стационар (total chi-square = 2,338; df = 3; p < 0,690).

Влияние уровня повреждения позвоночника и степени нарушения проводимости по спинному мозгу представлены в табл. 3, 4.

На основании данных, представленных в табл. 3, можно сделать заключение, что имеются достоверные отличия в частоте развития осложнений в зависимости от уровня повреждения.

Таблица 3 – Частота развития осложнений в зависимости от уровня повреждения позвоночника

Осложнения	Шейный* отдел позвоночника		Грудной отдел позвоночника		Поясничный отдел позвоночника		Итого	
	абс	%	Абс	%	Абс	%	абс	%
Пролежни	7	2,3	9	2,9	3	0,9	19	6,2
Гнойно-септические	16	5,3	3	0,9	1	0,3	20	6,5
Локальная	1	0,3	1	0,3	-	-	2	0,6

инфекция								
Сосудистые	4	1,3	11	3,7	8	2,7	23	7,7
Сочетание осложнений	15	4,9	4	1,3	1	0,3	20	6,5
Итого	43	14,1	28	9,1	13	4,2	84	27,4
p	total chi-square = 25,86; df = 8; p < 0,0006							

Количество осложнений при повреждении шейного отдела позвоночника составляет 14,1 % от всех пролеченных больных и 33,6 % от всех пациентов с повреждением шейного отдела позвоночника. Частота осложнений при повреждениях грудного уровня – 9,1 % и поясничного – 4,2 % соответственно.

Таблица 4 – Частота развития осложнений в зависимости от степени нарушения проводимости по спинному мозгу

Степень неврологических нарушений (ASIA/ISCSCI)	Пациенты с осложнениями (n = 84)	Пациенты без осложнений (n = 222)	Итого
A	73 (23,9 %)*	67 (21,9 %)	140 (45,8 %)
B	4 (1,3 %)	19 (6,2 %)	23 (7,5 %)
C	3 (0,9 %)	45 (14,7 %)	48 (15,6 %)
D	1 (0,4 %)	64 (20,9 %)	65 (21,3 %)
E	3 (0,9 %)	27 (8,9%)	30 (9,8 %)
Итого	84 (27,4 %)	222 (72,6 %)	306 (100 %)
p	total chi-square = 82,412; df = 4; p < 0,0001		

Анализ данных табл. 4 показал наличие достоверных различий в распределении числа случаев осложнений в зависимости от степени нарушения проводимости по спинному мозгу. Наибольшее количество осложнений 23,9 % развивается у спинальных больных (изолированные повреждения – 11,4 %; сочетанные повреждения – 12,5 %) на фоне полного нарушения проведения по спинному мозгу соответствующее, типу А по классификации ASIA/ISCSCI.

Оценку тяжести травматических повреждений проводили с использованием шкалы ISS (Injury Severity Scale). В ее основе лежит сокращенная шкала повреждений Abbreviated Injury Scale - AIS. Тяжесть общего состояния пациентов при поступлении проводили по шкале Apache III.

Таблица 5 – Влияние на развитие осложнений тяжести травматических повреждений и общего состояния при поступлении

Критерий	Пациенты с осложнениями (n=84)		Пациенты без осложнений (n = 222)	
	Изолированные повреждения (n = 39)	Сочетанные повреждения (n = 45)	Изолированные повреждения (n = 156)	Сочетанные повреждения (n = 66)
ISS	24,69±4,05*	43,04±10,6	22,03±4,8	38,9±12,9
Араче III	42,75±13,54	43,4±13,38	41,56±10,4	40,8±14,88
p	* – t-критерий Стьюдента; p < 0,0002			

Сравнительный анализ показателей тяжести общего состояния больных с ПСМТ при поступлении не выявил статистически достоверных различий между группами пациентов ($p > 0,05$). Таким образом, можно сказать, что тяжесть общего состояния при поступлении не оказывает существенного влияния на частоту и структуру развития осложнений. Достоверные различия влияния на развитие осложнений тяжести травматических повреждений выявлено у пациентов с изолированной спинальной травмой ($p < 0,0002$).

Осложнения, развившиеся на этапе стационарного лечения в 37 случаях (12,1 %) явились основной причиной ухудшения общего состояния и как следствие в дальнейшем летального исхода. В ходе проведенного анализа мы не выявили достоверных различий между частотой развития осложнений у пациентов с повреждением спинного мозга и наступлением летального исхода (total chi-square = 0,772; df = 3; $p > 0,05$). Необходимо отметить, что выявлена прямая корреляционная связь между развитием осложнений и наступлением смерти больных с повреждениями шейного отдела позвоночника ($r = 0,945$; $p < 0,05$).

Таблица 6 – Влияние осложнений на сроки стационарного лечения

Сроки лечения	Осложнения (n = 84)*	Без осложнений (n = 222)
Изолированные повреждения (n = 195)	74,63±50,39	32,46±23,49
Сочетанные повреждения (n = 111)	84,88±45,89	49,22±24,14
p	* – t-критерий Стьюдента, p < 0,0001	

По результатам анализа выявлено достоверное различие средних сроков стационарного лечения ($p < 0,0001$) между группами. Развитие осложнений у больных с позвоночно-спинномозговой травмой ведет к увеличению средних

сроков стационарного лечения в 2,5 раза при изолированных повреждениях и в 2 раза при сочетанной травме.

Заключение

По результатам проведенного анализа частота развивающихся осложнений у спинальных больных составляет 27,4 %. Основными факторами, обуславливающими развитие осложнений, являются повреждения на уровне шейного отдела позвоночника – 14,1 % ($p < 0,0006$), полное нарушение проводимости по спинному мозгу соответствующее типу А по ASIA/ISCSCI – 23,9 % ($p < 0,0001$), тяжесть травматических повреждений по шкале ISS при изолированной травме позвоночника и спинного мозга ($p < 0,0002$). Летальные исходы, обусловленные развитием осложнений, зарегистрированы в 37 случаях (12,1 %). Развитие осложнений в 8,5 % случаев потребовали проведения дополнительных оперативных вмешательств, что привело к увеличению сроков стационарного лечения в 2,0 – 2,5 раза ($p < 0,0001$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылов В.В., Гринь А.А., Луцик А.А., Парфенов В.Е., Дулаев А.К., Мануковский В.А., Кановалов Н.А., Перльмуттер О.А., Сафин Ш.М., Кравцов М.Н., Манащук В.И., Рерих В.В. Рекомендательный протокол лечения острой осложненной и неосложненной травмы позвоночника у взрослых (Ассоциация нейрохирургов РФ). Часть 3 // Вопросы нейрохирургии. – 2015. – № 2. – С. 97–110.
2. Гринь А.А., Кайков А.К., Крылов В.В. Осложнения и их профилактика у больных с позвоночно-спинномозговой травмой (часть 1) // Нейрохирургия. – 2014. – № 4. – С. 75–86.
3. Ахтямова Н.Е. Лечение пролежней у малоподвижных пациентов // Российский медицинский журнал. – 2015. – № 26. – С. 1549–1552.
4. Комаров А.Н., Кезина Л.П., Силина Е.В., Орлова А.С., Корейба К.А. Клиническая эффективность биопластического материала на основе нативного коллагена I типа в лечении пролежней у пациентов в нейрореабилитации: рандомизированное сравнительное исследование // Вестник восстановительной медицины. – 2017. – № 2. – С. 74–83.

5. Шашлов С.В., Пауков В.С., Салтыков Б.Б., Ермакова Н.Г. Иммунопатологическая характеристика пролежней при травматической болезни спинного мозга // Российский журнал восстановительной медицины. – 2019. – № 2. – С. 30–39.
6. Гребенюк Л.А., Мухтяев С.В. Алгоритм комплексного обследования мягких тканей при лечении спинальных больных с пролежневными ранами и хроническим остеомиелитом // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 9. – С. 198–203.
7. Первухин С.А., Лебедев М.А., Елистратов А.А., Иванова Е.Ю., Стаценко И.А., Пальмаш А.В., Фомичев Н.Г. Результаты интенсивной терапии осложненной травмы грудного отдела позвоночника // Политравма. – 2017. – № 3. – С. 30–37.
8. Фадеев Е.М., Хайдаров В.М., Виссарионов С.В., Линник С.А., Ткаченко А.Н., Усиков В.В., Мансуров Д.Ш., Нур О.Ф. Частота и структура осложнений при операциях на позвоночнике // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2017. – Т. 5. – Вып. 2. – С. 75–83.
9. Pateder D.B., Gonzales R.A., Kebaish K.M. et al. Pulmonary embolism after adult spinal deformity surgery // Spine. – 2008. – Vol. 33 (3). – P. 301–305.

Ю.П. Холюшкин

**ВСЕОБЩАЯ СИСТЕМНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НАУК КАК
СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНЫХ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
СПОСОБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА**

*Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского
Отделения Российской Академии Наук (ГПНТБ СО РАН), г. Новосибирск*

Смена теорий в истории науки стала занимать ведущих антропологов, а история антропологии стала частью теоретической антропологии. Именно критика эволюционизма, а затем и других ведущих направлений антропологии вызвала вспышки историографической активности» [Борофски, 1995: 9].

Так, в 70-годы XX – в 2000-е годы вышел ряд работ английских и американских антропологов, среди которых можно отметить книгу Джона Хонигмена [Honigmann, 1976]. Джон Хонигмен критически оценивал предшествующие концепции антропологии и утверждал, «что этнопсихологи, пользуясь психологическими понятиями, не оставляли этнографического подхода, при этом этнопсихологи изучали реакции и инстинкты, поведение индивида в их связи с социальной средой» [Honigmann, 1976: 169].

В 1981 году вышла историографическая работа Э. Эванс-Причарда "История антропологической мысли" [Эванс-Причард, 2003], посвященная не только роли учёных XVIII – XX вв. в развитие теоретической мысли в социальной антропологии, но и определению места теории в научном познании, а также её роли во взаимодействии антропологии с социологией и историей [Эванс-Причард, 2003]. В своих поздних работах Эванс-Причард развивал идею о необходимости приблизиться как можно ближе к ментальности туземного населения с целью перевода их понятий и идей на язык своей культуры. В этом смысле Эванс-Причарда можно рассматривать как одного из основоположников интерпретационного направления.

В 1985 году вышла книга Элмана Сервиса "Век controversy. Этнологические вопросы с 1860 по 1960" [Service, 1985], в которой

рассматривались разногласия между Мэном, Бахофеном, МакЛеннаном и Фустелем де Куланжем относительно характера раннего общества, споры о формах брака, терминологии родства. Были подвергнуты критике ошибки и недостатки работы Льюиса Х. Моргана, в частности, его номенклатура родства. Большое внимание было уделено характеру эволюционных преобразований общества от примитивного общества до цивилизации. В 2000 г. вышла книга эдинбургского антрополога Алана Барнарда "История и теория в антропологии" [Barnard, 2000]. Алан Барнард написал учебник, в котором исследуются исторические контексты теорий и научных школ, и произвёл их оценку. В учебнике отражены: эволюционизм во всех его проявлениях, диффузионизм, функционализм, процессуальные и марксистские перспективы, а также многогранность релятивизма, структурализма и постструктурализма и, наконец, интерпретационные и постмодернистские точки зрения.

Другой теоретической проблемой этнографии была проблема абстрагирования, "стерилизации" культуры в научных монографиях. Эта проблема всегда была достаточно сложной и даже болезненной для этнографов-полевиков, долгие месяцы живших в самой гуще чужой культуры и воспринимающих её, как совокупность конкретных *людей*, ведущих экзотический, иногда не очень приятный, всегда в той или иной степени странный образ жизни. Научное абстрагирование в таком случае сродни умерщвлению, но и совсем отказаться от него – значит, выдать себя, оказаться голым и безоружным перед всем миром [Клейн, 2014].

В науку, наконец, пришло понимание субъективности исследователя и осознание его деятельности как интерпретации [Geertz, 1988; Гирц, 2004]. Ушло в прошлое представление о том, что исследователь может создавать объективную картину реальности, оставаясь исключительно на позиции внешнего наблюдателя, самоустраняясь от собственного предмета. Клиффорд Гирц сделал попытку решить эту проблему, заменив теоретические обобщения интерпретацией. Это, помимо прочего, дало возможность сохранить в книгах приметы жанра полевых заметок, а, следовательно, сохранить детали и чёрточки, подробности и осадок недопонимания, портреты реальных людей, в

том числе самого автора, такого, каким этнограф был в момент исследования [Geertz, 1988; Гирц, 2004]. Подход К. Гирца был достаточно новым как к предмету исследования, так и к исследовательским стратегиям. Таким способом, Гирц пытался решить задачу, поставленную еще Б. Малиновским: "уловить точку зрения местного жителя, осознать его видение мира". Во-первых, полевые дневники резко отличались способами конструирования реальности от написанных на их основе монографий.

Анализируя данные фракталов, мы попытались найти логичность взаимосвязей между разделами гуманитарных и естественных наук и вывести некоторую закономерность.

Термин «фрактал» введён Бенуа Мандельбротом в 1975 году и получил широкую известность с выходом в 1977 году его книги «Фрактальная геометрия природы» [1]. Особую популярность фракталы обрели с развитием компьютерных технологий, позволивших эффектно визуализировать эти структуры.

Слово «фрактал» употребляется не только в качестве математического термина. Фракталом может называться предмет, обладающий, по крайней мере, одним из указанных ниже свойств:

- обладает нетривиальной структурой на всех масштабах;
- является самоподобным или приближённо самоподобным;
- обладает дробной метрической размерностью или метрической размерностью, превосходящей топологическую размерность.

Многие объекты в природе обладают свойствами фрактала, например: побережья, облака, кроны деревьев, снежинки, кровеносная система, система альвеол человека или животных.

Фрактальный рисунок не имеет идентичных элементов, но обладает подобностью в любом масштабе. Построить такое изображение с высокой степенью детализации вручную ранее было просто невозможно, на это требовалось огромное количество вычислений. Например, французский математик Пьер Жозе Луи Фату описал это множество более чем за семьдесят лет до открытия Бенуа Мандельбротом. Если же говорить про принципы

самоподобия, то о них упоминалось еще в трудах Лейбница и Георга Кантора с целью его ретроспективной и перспективной переакцентуализации с позиций проблемы мироупорядочения.

В российской науке гипотезу о возможности решения проблемы мироупорядочения высказывали в первую очередь философы и социологи. Десять лет спустя после публикации Б. Мандельброта гипотезу о возможности применения фрактального подхода высказал Е.Д. Гражданников [2].

В основе метода фрактального системного классификационного анализа понятий лежит гипотеза существования всеобщего фрагментного периодического закона, которая была выдвинута Е.Д. Гражданниковым в 1985 г. Одновременно и независимо идею о возможности существования всеобщего периодического закона в природе высказал И.Ф. Зубков [3] на основе работ Е.Г. Коваленко, однако он не привел формулировку этого закона [4].

Данная работа последовательно, шаг за шагом, отражает результаты тщательно спланированных исследований, которые проводились автором на протяжении двух десятилетий. В результате автор, следуя гипотезе о существовании всеобщего периодического закона, который применим для всех научных дисциплин, развил метод выявления закономерностей при классификации разделов гуманитарных и социальных наук, основных науковедческих понятий [5].

Суть метода, на основании которого строится классификация, состоит в построении классификационных фрагментов (рис. 1), каждый из которых базируется на универсальной классификационной модели. Эта модель предполагает использование законов диалектики для выявления системных связей между понятиями. При этом содержание самой модели раскрывается посредством шести следующих один за другим понятийных образований, начиная с опорного понятия и кончая пятиэлементной группой. Такие фрагменты обладают, по мнению разработчиков идеи, пятью системными свойствами:

- однозначность обусловлена тем, что отдельные значения многозначных слов занимают разные места на интеллектуальных картах;

- координатная картографичность связана со смысловым соответствием фрагмента в горизонтальных рядах наук;

- системная историчность проявляется в том, что горизонтальные ряды разделов наук повторяют историю развития и этапы научного исследования;

- прогностическая сила интеллектуальной карты вытекает из всеобщего периодического закона, из которого особо ценны две серии прогнозов, сделанных:

а) на основе феномена дубликации научных дисциплин;

б) на основе прогностической линии, которая делит классификационный фрагмент на левую (базисную) и правую (прогнозную) части.

О					
А			Б		
1		2		3	
1А	1Б	2А	2Б	3А	3Б
П					
П 1	П 2	П 3	П 4	П 5	

Рисунок 1 – Семантическая карта стандартного варианта классификационного фрагмента [6]

Подфоновая же полнота заключается в том, что каждая карта содержит набор разделов той или другой области науки, полностью охватывающих ее.

Замечательный пример немыслимости частного вне целого дает еще одна классическая методология – структурализм. Вот перечень четырех условий, при которых модель может быть названа структурой:

1) структура состоит из таких элементов, что изменение одного из них влечет за собой изменение всех других;

2) в череде преобразований модель проходит череду состояний, соответствующих в совокупности «группе моделей»;

3) указанные свойства позволяют предусмотреть, как модель будет реагировать на изменение каждого из составляющих ее элементов;

4) модель должна быть построена таким образом, чтобы ее применение охватывало все наблюдаемые явления [7: с. 247].

Один из секретов исследовательского волшебства родоначальника антропологического структурализма состоит именно в его превосходном чувстве целого, того пространства, в котором Леви-Стросс способен вдруг отыскать неожиданно значимое место для любой мелочи. Этим качеством и обладает системная классификация.

В ходе этих и других исследований было установлено, что бинарная оппозиция – это способ установления двух символических средств, чьи явные противоположные качества или количества предполагают, в понятиях ассоциативных правил культуры семантическую оппозицию [8: с. 36]. Так, В. Тэрнером был выделен ряд типов бинарных оппозиций. Среди них для нас представляют интерес следующие типы:

а) бинарная оппозиция иногда может возникнуть между комплексами символических средств, каждый из которых содержит систему доминантных и второстепенных символов; один из них может быть активным, а другой – пассивным (критерии определяющего влияния и мощности объема понятий) [4: с. 15];

б) один из членов диады может мыслиться как производный от другого (критерии порядка следования и родовой) [4: с. 15–16];

в) они могут быть похожими или непохожими, но равными по ценности (случай нестандартного классификационного фрагмента, когда элементы диады могут не различаться по критериям аналитичности – синтетичности; первичности – вторичности; частности – общности).

В результате таких исследований может сложиться впечатление, что бинарность – понятие не только гносеологическое, но и онтологическое.

Простейшими примерами бинарных классификационных групп пользуется и противник предлагаемой системной классификации Л.С.Клейн [4: с. 15].

Так, Л.С. Клейн с нескрываемым интересом рассмотрел разработки аргентинского философа М. Бунге, поместившего в сборнике, посвященном памяти Брюса Триггера, банальную статью о «философской матрице научного исследования». «Матрицу он представляет себе в виде пятиугольника со

сторонами: гуманизм, сайентизм, реализм, материализм и системизм (рис. 2). Различие между материализмом и реализмом он видел в том, что материализм относится к онтологии (к утверждению бытия, независимого от сознания), а реализм – к эпистемологии (гносеологии – возможности познавать реальность). Соответственно, он строит противоположную матрицу – для лженауки. Это тоже пятиугольник, а стороны его такие: коммерциализм, иррационализм, субъективизм, спиритуализм и антисистемизм. Обычно эти факторы выступают в связке, но достаточно одного из них, чтобы дух научности улетел» [10].

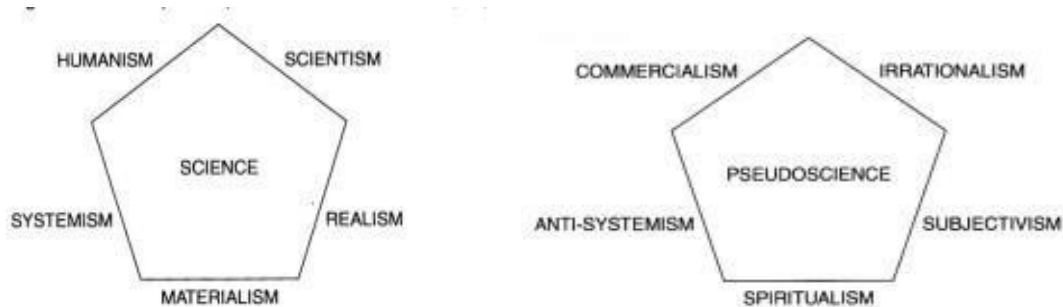


Рисунок 2 – Философские матрицы науки и лженауки по Бунге [10]

В реальности здесь представлены диадные группировки понятий, замаскированные в виде двух пятиугольников.

Десятилетием ранее Л.С. Клейн привёл схему, на которой «фундаментальные принципы археологии расположились в логическом пространстве парами – как враждующие боги перед Битвой Богов в «Иллиаде», – и в каждой паре принципы находятся в оппозиции друг к другу» [9: с. 44].

Приводя в дальнейшем взгляды ряда видных западных археологов, Клейн в итоге приходит к неутешительному выводу о том, что если «применительно к физике диалектика принципов остаётся где-то в философских осмыслениях науки, а внутри каждой физической дисциплины физикам удаётся построить непротиворечивые основания, то в археологии картина иная. Универсальные законы здесь несущественны, а существенные законы не универсальны, данные всегда ужасающе неполны, а смысл зашифрован. Поэтому противоречий в основаниях избежать не удастся. Битва богов происходит в самой отрасли» [9: с. 45]... «Открывающаяся картина почти шизофренического раздвоения в самом логическом фундаменте дисциплины способна испугать всякого, кто

жаждет строгости и однозначности, непротиворечивых оснований для выводов» [9: с. 47].

Такой уровень скептицизма в работах Л.С. Клейна нам понятен, поскольку «говоря математически, с помощью бинарных оппозиций мы строим лишь линейное отношение двух величин, но не можем дать ответа, так как не имеем критерия оптимальности, пока не введем его из дополнительных соображений. Чтобы решить ее нужно выйти в дополнительное измерение, вырваться из бинарной схемы. Итак, диада, или бинарная оппозиция, есть элементарная структура анализа. Синтеза с ней не построить. Для синтеза требуется более емкая структура» [11].

Выход из тупиковости гуманитарного знания нам видится в предложенном фрактальном подходе. Только на основе такого подхода могут возникнуть предпосылки нового синтеза науки, философии и религии, соединения физики и метафизики, приближающих нас к формированию своего рода натурфилософии XXI века, в центре которой снова оказывается проблематика мироупорядочения, теперь уже обладающая современным естественнонаучным основанием. На основании информации о соавторстве появилась возможность исследовать процесс формирования "незримых научных коллективов" и частотного распределения публикаций по основным тематическим рубрикам: технологиям знаний; математической статистике, музееведению, библиотечным технологиям и др.

Мы шли по этому пути и можем утверждать, что завершен лишь первый этап построения системной классификации основных разделов наук: археологии, медицинской, психологической, политической, социально-экономической антропологии и др. Однако уже на данном этапе становится возможным наметить пути теоретического и практического применения предложенного нового метода. Они могут быть самыми различными. Так, теоретическое значение этого метода видится в возможности эффективного применения системного классификационного анализа для прогнозирования фундаментальных исторических закономерностей и открытия новых областей деятельности ученых.

Системная классификация позволяет ввести в науку новый статистический показатель: тематическую плотность научной дисциплины. Таким образом, предлагаемый метод – это не просто закономерность, а новый закон, который может повысить интеллектуальный потенциал всех научных дисциплин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М., 2002. – 656 с.
2. Гражданников Е.Д. Метод систематизации философских категорий. – Новосибирск, 1985. – 105 с.
3. Зубков И.Ф. Диалектика единства и многообразия мира // Очерки по диалектическому материализму. – М., 1985.
4. Гражданников Е.Д., Холюшкин Ю.П. Системная классификация социологических и археологических понятий. – Новосибирск, 1990. – 182 с.
5. Холюшкин Ю.П. Системная археология. – Новосибирск, 2010. – 554 с.
6. Гражданников Е.Д. Метод построения системной классификации наук. – Новосибирск, 1987. – 120 с.
7. Леви-Строс К. Структурная антропология. – М., 1983. – 536 с.
8. Тэрнер В. Символ и ритуал. – М., 1983. – 277 с.
9. Клейн Л.С. Принципы археологии. – СПб.: Бельведер, 2001. – 151 с.
10. Клейн Л.С. Мораль черепахи – которая знает // Троицкий вариант. – 2013. – № 130. – С. 12.
11. Баранцев Р.Г. Бинарная наследственность, тернарные структуры, переходные слои // Синергетика. Труды семинара. Том 3. – М., 2000. С. 353–361.

Е.Г. Оршанская

**КРИТЕРИИ И ПРИЗНАКИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ МОДЕЛЬ
ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО РЕЧЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ
ФГБОУ ВО "Сибирский государственный индустриальный университет",
г. Новокузнецк**

Для создания модели речевого поведения преподавателя значимыми являются критерии выбора тактик его поведения. Предложенные ниже критерии отбирались с учетом их значений и выполняемых функций, степени воспроизводимости рассматриваемых характеристик, эффективности демонстрируемых результатов при реализации модели. Для описываемой модели используются такие критерии, как:

- личностно значимые качества преподавателя;
- ориентация деятельности преподавателя;
- характер взаимоотношений между преподавателем и обучаемым;
- речевая деятельность.

Модель была бы неполной без профессионально ориентированного критерия, содержание которого связано со спецификой преподаваемой учебной дисциплины. Но поскольку по этой причине его признаки не являются универсальными и могут раскрывать разные знания и умения, в данной статье, посвященной описанию общей модели речевого поведения преподавателя, он рассматриваться не будет.

Дадим характеристику указанным критериям и их признакам. Отличительной особенностью первых трех критериев является позитивная настроенность преподавателя, его психологическое благополучие. К личностно значимым качествам относятся следующие:

- образованность;
- доброжелательность;
- справедливость;
- ответственность;
- активность;

- наличие творческого подхода;
- вежливость;
- терпеливость;
- тактичность;
- внимательность;
- отзывчивость [1, с. 236–237];
- энтузиазм;
- мотивированное поведение [2, с. 44].

Большинство из перечисленных качеств раскрывают правила надлежащего речевого поведения, сложившиеся в России, реализация которых осуществляется и в профессиональной деятельности преподавателя. Данные качества позволяют увлечь студентов, заинтересовать изучаемым материалом, уделять обучаемым больше внимания. Как показывают результаты зарубежных исследований, студенты, обучающиеся под руководством преподавателя, обладающего такими качествами, достигают более высоких учебных результатов, увлеченно относятся к содержанию и усвоению материалов учебной дисциплины, принимают активное участие в работе на занятии [2, с. 44].

Ориентация деятельности преподавателя позволяет организовать ее таким образом, чтобы учитывать интересы и потребности обучаемых, проявлять готовность к сотрудничеству, взаимодействию с ними для решения задач в учебном процессе. По возможности следует принимать во внимание желание и возможности каждого студента принимать участие в обучении.

Что касается характера взаимоотношений между преподавателем и обучаемыми, то его можно охарактеризовать как активный, целеустремленный, инициативный. Для его речевого поведения характерны поддержка, совет. Преподаватель стремится поощрять обучаемых, поддерживать их стремление и желание добиться лучших результатов в учебе. Он должен быть терпеливым; ему необходимо принимать во внимание особенности каждого студента. Он не проявляет презрения и раздражения по отношению к обучаемым [1, с. 237]. Преподаватель организует коммуникативное взаимодействие, которое может

иметь определенный эмоциональный настрой в зависимости от ситуации занятия.

Поскольку преподаватель во время занятия по иностранному языку вынужден исполнять разные речевые роли, соответственно, он выполняет несколько речевых функций. Как отмечает Ю.М. Яковлева, преподаватель является наставником для обучаемых, источником информации, помощником, наблюдателем, организатором и участником общения, диагностом [3, с. 387]. Поэтому его речевая деятельность является разнообразной, многофункциональной, обеспечивая функционирование нескольких функций: контактоустанавливающей, организующей, объясняющей, стимулирующей и оценивающей. Они реализуются преподавателем в процессе проведения занятий различных видов, позволяя решать поставленные задачи и достигать запланированных целей обучения.

Дадим им краткую характеристику в соответствии с выполняемыми преподавателем речевыми действиями.

Контактоустанавливающая речевая деятельность преподавателя направлена на:

- привлечение внимания обучаемых;
- установление и поддержание контактов с ними в различных режимах педагогического общения на занятиях при обязательном соблюдении норм речевого этикета (правила приветствия, прощания, извинения и т.д.) [1, с. 237–238]. Важным является умение задавать вопросы и реагировать на ответы обучаемых, обеспечивая реализацию обратной связи.

Основные компоненты организующей речевой деятельности преподавателя представлены на рис. 1.



Рисунок 1 – Компоненты организующей речевой деятельности преподавателя

Реализация объясняющей функции позволяет сделать понятным новый учебный материал с помощью таких речевых приемов и средств, которые являются доступными для данного этапа обучения, соответствуют степени сложности изучаемой информации и уровню подготовленности студентов (наличие речевой адаптации) [1, с. 239]. Объяснение осуществляется при помощи использования "внутренних" и "внешних" свойств речи преподавателя, которые оказывают положительное влияние на скорость и качество восприятия и понимания нового материала, позволяют эффективно организовать речевую деятельность во время объяснения. Внутренние свойства речи преподавателя представлены на рис. 2, внешние – на рис. 3.

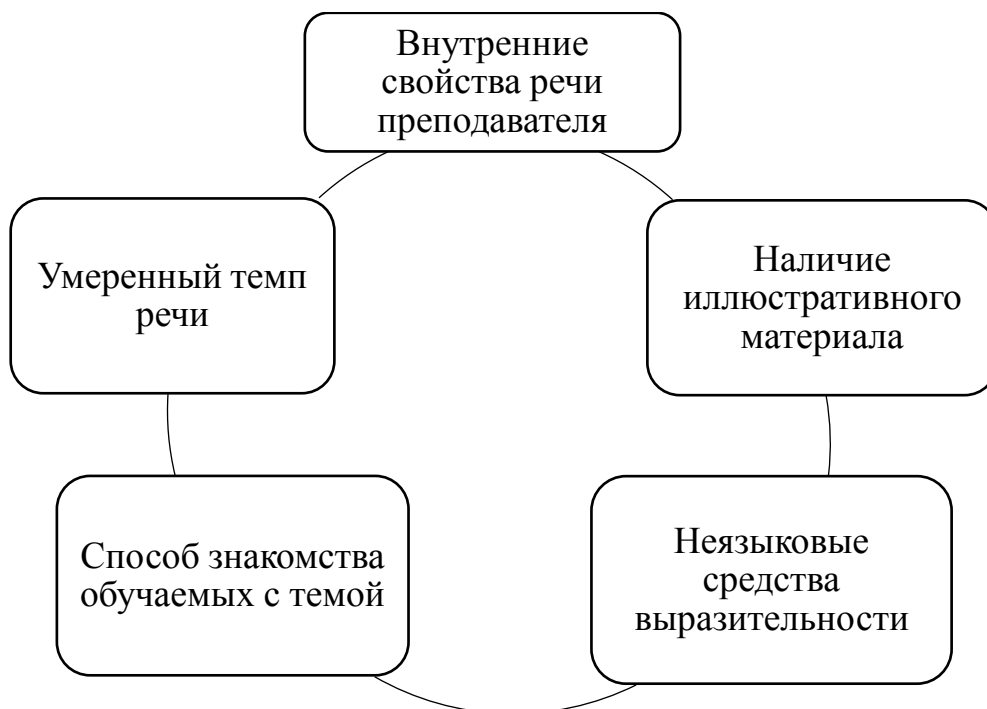


Рисунок 2 – Внутренние свойства речи преподавателя

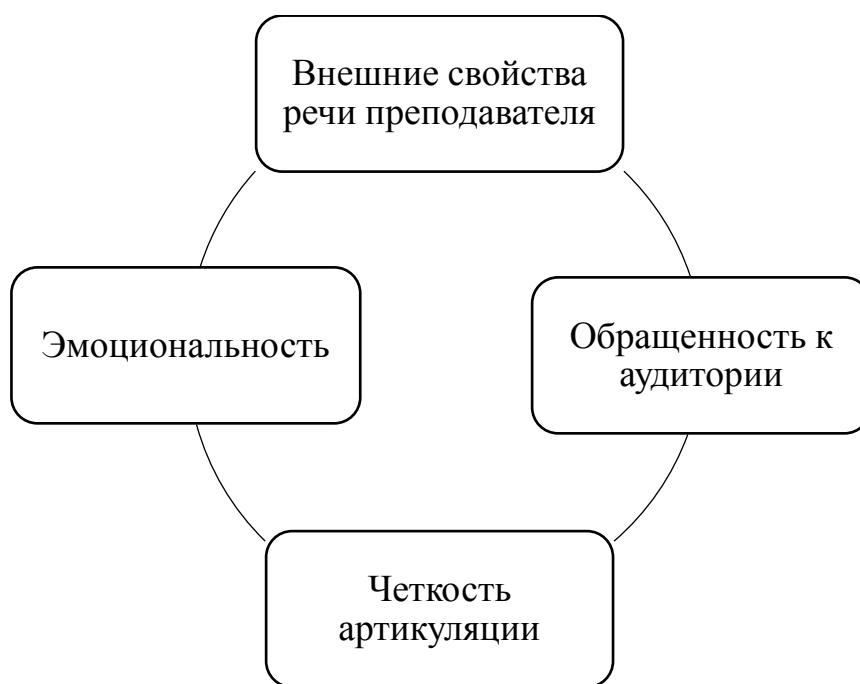


Рисунок 3 – Внешние свойства речи преподавателя

Стимулирующая деятельность рассматривается по таким параметрам, как:

- продолжительность и характер ее осуществления;
- форма высказываний;
- наличие невербальных жестов.

Данный вид деятельности реализуется преподавателем в течение всего занятия. Он призывает обучаемых к соблюдению дисциплины и выполнению заданий с помощью условных знаков, жестов, определенных поступков, побуждает их к активным речевым действиям (например, повторить, прочитать, написать, сказать и т.д.), просит обучаемых проиллюстрировать объясняемый материал с помощью конкретных примеров [1, с. 239].

Оценивающая деятельность преподавателя включает следующие признаки:

- подтверждение правильности/неправильности учебных действий, выполненных обучаемыми;
- установление степени успешности их осуществления;
- выражение собственного отношения к оцениваемым действиям;
- обоснование и выставление оценки.

Уместным является сравнение преподавателем прошлых и настоящих учебных достижений студентов, сообщение им о значимости достигнутых результатов, подчеркивание зависимости полученных достижений с затраченными усилиями.

Рассмотренные критерии и признаки модели положительного речевого поведения преподавателя должны быть основой для реализации его профессиональной коммуникативно-речевой деятельности. Они способствуют раскрытию его положительных личностных качеств, демонстрации владения им соответствующими умениями, что оказывает в целом позитивное влияние на качество преподавания, увеличения объема знаний, усваиваемых студентами, повышает скорость и прочность формируемых умений и навыков обучаемых.

При реализации на практике рассмотренной модели положительного речевого поведения преподавателю следует стремиться выполнять следующие рекомендации:

- создавать позитивный настрой на изучение конкретной учебной дисциплины, показывать значимость изучаемой информации и возможность ее применения за пределами университета, раскрывать взаимосвязь с содержанием других учебных дисциплин;

– при необходимости уметь извиняться за допущенные ошибки, данное, но невыполненное обещание с объяснением причин, демонстрируя тем самым уважительное отношение к обучаемым, становясь образцом для подражания и воспроизведения;

– совместно обсуждать изучаемую тему путем ответов на вопросы преподавателя, обобщать ответы, формулировать выводы;

– приводить примеры из собственной жизни, делиться своим опытом по рассматриваемым вопросам;

– поощрять и подбадривать обучаемых при помощи похвалы, демонстрации положительных эмоций, связанных с оцениванием учебных действий студентов.

Таким образом, применение рассмотренной модели положительного речевого поведения преподавателя позволяет создавать условия для эффективного обучения студентов, решать поставленные задачи совместно с обучаемыми, демонстрировать им образец надлежащего речевого поведения, развивать у них умения, связанные с коммуникативно-речевым взаимодействием в учебном процессе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оршанская Е.Г. Модели речевого поведения учителя иностранного языка // Сибирский педагогический журнал. – 2011. – № 1. – С. 127–134.

2. Stronge J.H., Grant L.W., Xu X. Teacher behaviours and student outcomes. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, 2nd edition. – Elsevier, 2015. P. 44–50.

3. Яковлева Ю.М. Речевые функции учителя на уроке иностранного языка // Ученые записки Орловского государственного университета. – 2016. – № 4 (73). – С. 387–390.

Е.Г. Оршанская

**РЕАЛИЗАЦИЯ БИЛИНГВАЛЬНОЙ ГИБКОСТИ В ПРОЦЕССЕ
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ НА ЗАНЯТИЯХ ПО
ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ ВУЗА**

ФГБОУ ВО "Сибирский государственный индустриальный университет",

г. Новокузнецк

Профессиональная деятельность преподавателя иностранного языка связана с необходимостью уметь быстро переходить с одного языка на другой, находить иноязычный эквивалент, перестраивать своё речевое поведение в соответствии с принятыми нормами. В данном случае одним из показателей результативности осуществляемой коммуникативно-речевой учебной деятельности является билингвальная гибкость, владение которой обеспечивает билингвальное развитие.

Под билингвальной гибкостью понимается умение преподавателя быстро переключаться с употребления одного языка на другой, подбирать соответствующий эквивалент родного или иностранного языков, выбирая из языковых систем двух языков [1, с. 166]. Наличие билингвальной гибкости свидетельствует о сформированности механизма переключения, позволяет преподавателю адекватно и быстро реагировать на различные ситуации занятия и эффективно осуществлять двуязычное профессионально ориентированное общение.

Умение осуществлять билингвальную гибкость предполагает владение такими взаимосвязанными умениями, как:

– быстро подбирать русские и иноязычные эквиваленты, необходимые для выражения коммуникативного намерения;

– реагировать на действия обучаемых, используя речевые средства родного и иностранного языков в соответствии с коммуникативно-речевой ситуацией занятия;

– дополнять профессионально ориентированные высказывания преподавателя на родном языке уместными иноязычными словами и

выражениями.

Фонд оценочных средств по учебной дисциплине "Иностранный язык" предусматривает применение преподавателем оценочных средств, которые используются для текущего контроля знаний посредством оперативного и регулярного управления учебной деятельностью (в том числе самостоятельной) обучающихся. Текущий контроль успеваемости осуществляется в течение семестра, в ходе повседневной учебной работы по индивидуальной инициативе преподавателя, в том числе посредством использования СУО "Moodle". Формы проведения текущего контроля – наблюдение за работой на практическом занятии; контрольно-тренировочные упражнения; вопросы для устного обсуждения (опроса); домашнее задание; тестовые задания: А) тест на проверку понимания прочитанного; Б) промежуточное тестирование; В) итоговое тестирование); презентации; резюмирующий перевод.

Перед началом использования любого оценочного средства преподаватель инструктирует студентов о последовательности выполнения и способах осуществления каких-либо действий. Речевая задача, решаемая преподавателем при помощи инструктажа, – разъяснить цель, последовательность и способ выполнения определённых действий.

Важную роль при проведении инструктажа на занятии по иностранному языку играет выбор речевых средств. Виды инструктажа в зависимости от выбора языка/языков представлены на рис. 1.



Рисунок 1 – Виды инструктажа в зависимости от выбора языка/языков

При выборе языка для проведения инструктажа следует придерживаться рекомендаций, представленных в табл. 1.

Таблица 1 – Рекомендации при выборе языка/языков для проведения инструктажа

Вид инструктажа	Рекомендации по применению инструктажа
На родном языке (большинства) обучаемых	Поскольку студенты владеют иностранным языком на определенном уровне, применение данного вида инструктажа является целесообразным при выполнении новых заданий, использовании отдельных оценочных средств впервые, что позволит разъяснить характер и последовательность действий, обеспечит их понимание и осознание максимально возможным количеством студентов. По этим причинам его применение уместно и при выполнении студентами заданий в дистанционной форме.
Комбинированный	Данный вид инструктажа является наиболее распространенным, когда часть информации сообщается преподавателем на русском языке, только отдельные фразы, предложения, понятные студентам без перевода, произносятся на иностранном языке. Комбинированное использование двух языков способствует развитию билингвальной гибкости, речевой адаптации и вариативности, связанных с необходимостью выбора наиболее адекватных речевых средств для определенных коммуникативно-речевых ситуаций учебного занятия.
На изучаемом языке	Этот вид инструктажа должен быть доступным и понятным обучаемым по содержанию и языку, незнакомые и многозначные слова не используются. Его использование позволяет повысить уровень знаний студентов, закреплять их словарный запас иноязычных слов и выражений, позволяет погрузить их в т.н. "языковую среду".

Изучение рекомендаций по выбору языка для проведения инструктажа, сформулированных в табл. 1, показывает, что вид инструктажа зависит от цели и условий его применения, возможности выбора речевых средств на родном и/или иностранном языках.

При проведении занятий используется текущий инструктаж. Он выполняет следующие функции:

- мотивирующая (побуждение обучаемых для выполнения предстоящей учебной деятельности);
- актуализирующая (повторение знаний и умений, необходимых для осмысления и выполнения задания);
- объясняющая (разъяснение содержания задания, правильной последовательности действий при его выполнении);
- управляющая (организация учебной деятельности студентов для предотвращения возможных ошибок).

При подготовке текста инструктажа и его проведении необходимо помнить о том, что инструктаж должен быть кратким, доступным для понимания без уточняющих дополнительных вопросов; он должен давать как можно больше ответов на возможные вопросы о том, как и что следует выполнять. Говорить нужно не слишком быстро, четко проговаривая слова, особенно если инструктаж или какая-то его часть произносится на иностранном языке. Ключевые слова и фразы инструктажа можно повторить 2 – 3 раза [1, с. 171].

Не следует завершать инструктаж фразой "Всё понятно"? Студенты могут небрежно кивнуть головой в знак согласия, но выполняют работу с ошибками. Желательно выполнить начало упражнения вместе, чтобы определить, насколько обучаемые поняли инструктаж. Для этого перед предложениями в контрольно-тренировочных упражнениях часто размещают образец их выполнения, который преподаватель и студенты разбирают вместе до начала работы над упражнением. Например, в упражнении "Change the following sentences from Present Indefinite Active to Present Indefinite Passive according to the model" предлагается образец для изучения [2, с. 8]:

Model: a) People speak English in many countries of the world. – English is spoken in many countries of the world.

b) Universities develop new methods of students' training. – New methods of students' training are developed by universities.

Таким образом, разбор образца помогает студентам вспомнить формы глагола to be в настоящем времени для единственного и множественного числа, необходимые для составления предложений в страдательном залоге, определить подлежащее для нового предложения. В случае обнаружения ошибок студентов следует повторить ту часть инструктажа, которая поможет устранить причины недопонимания.

Для определения понимания прослушанного инструктажа С. Свифт рекомендует попросить одного или нескольких студентов повторить его содержание, причем выбрать для этого не самого сильного студента. Если он сможет сказать, какое задание он должен выполнить и каким образом, то цель проведения инструктажа достигнута [3]. Кроме того, она предлагает задавать студентам уточняющие вопросы после выполнения инструктажа – например, в каком времени они будут отвечать на вопросы задания, какие ответы (краткие или развернутые) нужно дать.

Рассмотрим примеры инструктажа для таких форм проведения текущего контроля, которые используются при обучении студентов очной формы, – домашнее задание, вопросы для устного обсуждения (опроса), резюмирующий перевод текста, презентация.

При проведении инструктажа для выполнения домашнего задания преподавателем сообщается план, последовательность его выполнения, объем (примерное количество предложений). Данный инструктаж может быть комбинированным, когда общие сведения о домашнем задании сообщаются на русском языке, план для его подготовки – на иностранном, например [2, с. 17]:

Choose one subject you study and tell your groupmates about it. Speak about:

- the name of the subject;*
- the name and position of your teacher;*
- how often you attend these classes;*
- what types of lessons you have;*
- what you do during these lessons;*
- what material you study;*
- reasons for liking / disliking this subject.*

Вопросы для устного обсуждения (опроса) могут быть использованы как в начале изучения определенной темы, так и после знакомства с текстом по конкретной проблеме. Как правило, это специальные вопросы, ответы на которые позволяют студентам рассказать о собственном опыте в той или иной сфере деятельности, выразить свое мнение к обсуждаемому событию. В качестве примера ниже представлены вопросы [2, с. 16]. При использовании данного оценочного средства часто инструктаж проводится на иностранном языке.

Answer the questions:

1. *How many UNE subjects did you pass?*
2. *What was the most difficult / easiest exam? Why do you think so?*
3. *How did you prepare for your exams?*
4. *Where did you take them?*
5. *What things could you use at the exams?*
6. *How long did you wait for the results of the exams?*
7. *What was your average score?*

При обучении выполнению резюмирующего перевода текста осуществляется анализ и комментарий исходного, первоначального текста и текста перевода. По этой причине целесообразным является использование комбинированного инструктажа.

Прочитайте текст на английском языке и пример резюмирующего перевода. Со всем ли Вы согласны? Объясните, почему. What changes in translation of the text can you do? What information is it necessary to add?

Поскольку презентация готовится студентами по заданию преподавателя, но самостоятельно, им требуется разъяснить порядок ее подготовки, оформления и представления на занятии. В данном случае инструктаж включает в себя сведения о ее оформлении, структуре и содержании [2, с. 39].

Make the presentation about the university you study. It should include photos. Make a report about the university (20-25 sentences). Be ready to tell about:

- *its history;*
- *modern structure;*

- *levels of education;*
- *website;*
- *the library;*
- *sport facilities and competitions;*
- *cultural center and cultural life;*
- *university's museums;*
- *students' organizations;*
- *hostels for students;*
- *the newspaper "Our University".*

При выполнении студентами самостоятельной работы посредством использования СУО "Moodle" представляется инструктаж на русском языке, так как при использовании русского языка достигается максимально возможное понимание, обучаемые более ясно представляют характер и последовательность предложенной работы, меньше задают уточняющих дополнительных вопросов при помощи сообщений и на форуме для консультирования, связанных с выполнением задания, успешнее справляются с заданием. Ниже приведен пример инструктажа при выполнении тестовых заданий (рис. 2).

Тест с ограничением по времени

Время на тест ограничено и равно 1 ч. Будет идти обратный отсчет времени с момента начала вашей попытки, и вы должны завершить тест до окончания времени.

The screenshot displays a Moodle test interface. On the left, a question is presented: "He doesn't tell us ____ they will come." Below the question, it asks to "Выберите один ответ:" (Choose one answer) and provides four radio button options: a. because, b. after, c. who, and d. when. A blue button labeled "Следующая страница" (Next page) is located below the question. On the right, a navigation panel titled "Навигация по тесту" (Test navigation) contains a grid of 15 question numbers (1-15). The number 1 is highlighted with a black border. Below the grid, there is a blue link "Закончить попытку..." (End attempt...), a timer showing "Оставшееся время 0:29:21" (Remaining time 0:29:21), and a grey button "Начать новый просмотр" (Start new view).

Рисунок 2 – Пример инструктажа для выполнения тестовых заданий в СУО "Moodle"

Учитывая изложенное, можно сделать вывод о том, что инструктаж является распространённым профессионально ориентированным высказыванием, используемым преподавателем иностранного языка в учебной речи при проведении практических занятий. Владение умением проводить инструктаж позволяет чётко сформулировать, что именно требуется от студентов, даёт представление о последовательности выполнения действий, предупреждает о возможных ошибках. При проведении инструктажа большое значение имеет билингвальная гибкость, владение которой обеспечивает выбор наиболее подходящего языка, уместных речевых средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оршанская Е.Г. Учитель иностранного языка как организатор межъязыкового и межкультурного взаимодействия: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2 / Под общей редакцией Н.А. Ипполитовой. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. – 221 с.
2. Systems of higher education in Russia and Great Britain : практикум / Сост. Е.Г. Оршанская. – Новокузнецк: СибГИУ, 2017. – 41 с.
3. Swift S. 10 Tips for Giving and Checking Instructions in an ESL Classroom / TEFL resources. – URL: <https://www.eslbase.com/teaching/giving-checking-instructions>

ЮБИЛЕИ

ПРОФЕССОРУ ВИКТОРУ ГРИГОРЬЕВИЧУ ЛУКЬЯНОВУ – 90 ЛЕТ



15 марта 2020 г. исполнилось 90 лет со дня рождения и 67 лет трудовой, научно-педагогической и общественной деятельности Виктору Григорьевичу Лукьянову. Лукьянов В.Г. – горняк с мировым именем, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, Действительный член Академии горных наук России, Российской академии Естественных наук, член-корреспондент Международной академии наук Высшей школы, Почетный профессор Китайского геологического университета (г. Ухань), Председатель Томского

научного центра РАЕН, дважды лауреат премии Томской области в сфере науки и образования, «Лучший профессор года Томского политехнического университета – 2005 г.», «Отличник разведки недр СССР», дважды финалист конкурса «Человек года Томской области» в номинации «Нефтяник года», «Почетный разведчику недр СССР», «Почетный работник угольной промышленности СССР», кавалер знака «Шахтерская слава» I, II, III степеней, «Почетный работник топливно-энергетического комплекса», «Почетный нефтяник», «Почетный работник Минобразования Российской Федерации», доктор технических наук, заслуженный профессор Томского политехнического университета, основатель и заведующий кафедрой горного дела и геодезии в период 1970 – 2003 гг., инициатор и организатор открытия новой специальности в ТПУ «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ».

Родился Виктор Григорьевич в г. Петропавловске. В 1953 г. окончил горно-механический факультет Томского политехнического института. С 1964 г. кандидат технических наук, с 1965 г. – доцент, с 1970 по 2003 гг. заведовал кафедрой горного дела. В 1984 г. В.Г. Лукьянов успешно защитил докторскую диссертацию в Московском геологоразведочном институте, в 1985 г. ему была

присуждена степень доктора технических наук, а в 1987 г. – присвоено ученое звание профессора. В 1996 г. его избрали Почетным профессором Китайского геологического университета, а в 1997 г. – присвоили почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации». В 1999, 2008 гг. – лауреат премии Томской области в сфере науки и образования. В 2000, 2002 гг. в конкурсе «Человек года» он стал финалистом в номинации «Нефтяник года». Профессор В.Г. Лукьянов является основателем и руководителем Сибирской научной школы в области техники и технологии проведения горно-разведочных выработок. В этой области ему принадлежат глубокие теоретические исследования, практические рекомендации и разработки, известные не только в нашей стране, но и за рубежом.

В результате многолетней научной деятельности профессором В.Г. Лукьяновым опубликовано более 500 работ, в том числе 18 монографий, 9 учебников, 9 учебных пособий и 470 статей, докладов, авторских свидетельств и других информационных материалов, 7 докладов опубликовано за рубежом, 5 монографий написаны единолично. Одна монография переведена на китайский язык.

Под его руководством подготовлены 21 кандидат технических наук, один кандидат геолого-минералогических наук и один доктор наук. Научные разработки, выполненные Виктором Григорьевичем, нашли применение не только в России, но и за рубежом (НРБ, ПНР, КНР и США). Он пять раз был в служебных командировках во Фрайбергской Горной Академии, рудниках ГДР по вопросам совместных научных исследований, обмену опытом, проведения консультаций и чтению лекций. Неоднократно выступал на международных конференциях и симпозиумах, в частности, в Германии и Китае.

В 1990 – 1997 гг. по заказу ОАО «Томскнефть» и ОАО «Восточная Нефтяная Компания» под его руководством разработан комплект Каталогов нефтепромыслового оборудования. Изданный каталог – это настоящая энциклопедия для нефтяников. Специалисты различного уровня отмечают актуальность, своевременность и полезность выполненной работы. В.Г. Лукьянов – организатор и председатель Томского научного центра РАЕН. В

1999 г. Президиум Российской академии естественных наук наградила его почетным знаком «За заслуги в развитии науки и экономики».

В 2004 г. он награжден юбилейной медалью «400 лет городу Томску», а также орденом «За пользу Отечеству». В 2005 г. победитель конкурса на звание «Лучший профессор года Томского политехнического университета», удостоен серебряной и золотой медалями «За заслуги перед Томским политехническим университетом». В.Г. Лукьянов вошел в энциклопедию «Выдающиеся ученые РАЕН», 1997 г. и «Горные науки России и стран СНГ», энциклопедию Академии горных наук, 2008 г. В 2010 г. он включен в энциклопедию «Who is Who в России» Международного Швейцарского издательства.

В настоящее время Виктор Григорьевич продолжает работать профессором-консультантом.

Друзья и коллеги сердечно поздравляют Виктора Григорьевича с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, творческих успехов в педагогической и научной деятельности, благополучия в личной жизни!

РЕФЕРАТЫ

УДК 550.832

Очаги генерации углеводородов и их аккумуляция в доюрском разрезе Останинского месторождения (Томская область) / В.И. Исаев, М.Ф. Галиева, Г.А. Лобова, А.Н. Фомин // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 3.

Впервые выполнено совместное моделирование катагенетических очагов генерации УВ осадочных бассейнов: «современного» юрско-мелового и силурийского, нижне-среднедевонского, верхнедевонского нижнекаменноугольного «палеобассейнов». Установлено, что в условиях геолого-геофизического разреза Останинского месторождения источником углеводородов резервуаров коры и палеозоя является скорее всего юрская «баженовская нефть». Рис. 1. Табл. 2. Библ. 15.

Concurrent modelling of catagenetic foci of hydrocarbon generation in sedimentary basins: “present” Jurassic-Cretaceous and Silurian, Lower-Middle Devonian, Upper Devonian-Lower Carboniferous “paleobasins”, was performed for the first time. It was stated that source of hydrocarbons in reservoirs of the weathering crust and inner Paleozoic in conditions of geological and geophysical section of Ostaninskoe field most likely is Jurassic “Bazhenov oil”. Fig. 1. Table. 2. Ref. 15.

УДК 553.982

Свойства трудноизвлекаемых нефтей в арктической зоне Сибири / И.Г. Яценко // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 13.

Проведено исследование свойств нефти на основе применения классификации трудноизвлекаемой нефти по физико-химическим показателям и условиям залегания. Установлены особенности свойств разных типов трудноизвлекаемой нефти Арктической зоны. Рис. 1. Табл. 9. Библ. 10.

The study of oil properties is based on the application of classification of hard-to-recover oil by physical and chemical parameters and conditions of occurrence. Features of properties of different types of hard-to-recover oil in the Arctic zone are established. Fig. 1. Table. 9. Ref. 10.

Модели расчета процессов очистки нефтегазовых скважин от бурового шлама / С.Н. Харламов, М. Джангхорбани // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 28.

Представлены анализ современных подходов и комплексных методов экспериментального и численного исследования гидрогазодинамики, тепломассопереноса при течениях реологически сложных вязких сред в затрубном пространстве скважин с горизонтальными участками. Проведен анализ положений физического и математического моделирования задач об интенсификации процесса очистки скважин от бурового шлама. Даны заключения о деталях формулировки двух-, трехслойных моделей для прогноза движения смесей и очистки бурового оборудования скважин от продуктов выработки. Рис. 3. Библ. 17.

Analysis of modern approaches and complex methods of experimental and numerical investigation of hydrogasodynamics, heat- and mass transfer at flows of rheologically complex viscous media in annular space of wells with horizontal sections is presented. Analysis of physical and mathematical modeling of problems on intensification of process of well cleaning from drilling sludge was carried out. Conclusions are given on the details of the formulation of two-, three-layer models for predicting the fluid flow of mixtures and cleaning drilling equipment of wells from production products. Fig. 3. Ref. 17.

УДК 553

Литолого-фациальный анализ формирования, размещения и преобразования комплексных железо-редкоземельных руд бакчарского рудного узла (Томская область) / В.А. Домаренко, Б.К. Кенесбаев, Е.В. Перегудина, А.Я. Пшеничкин // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 38.

The ores of the Bakchar node are confined to the Upper Cretaceous and Paleogene deposits overlain by a fairly thick layer (160-200 m) of Neogene-Quaternary age. Oolitic iron ores in it are associated with three main horizons: Narым, Kolpashev, and Bakchar. In the northern regions, the fourth – Tym

(Chigorinsky) horizon is mapped, but it is confined to the upper stratigraphic levels (Lower Oligocene) and is located far beyond the studied area (West Siberian..., 1964; Zhelezorudnaya..., 1998) [12]. Fig. 5. Ref. 29.

УДК 553

К технологии переработки комплексных железо-редкоземельных руд западно-сибирского пояса на примере объектов бакчарского рудного узла (Томская область) / В.А. Домаренко, Б.К. Кенесбаев, Е.В. Перегудина, А.Я. Пшеничкин, В.П. Дмитриенко // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 52.

Mineral REM-containing raw materials in most of the largest currently exploited and promising deposits contain the most common light elements of the cerium group in nature. The search for alternative sources of REE in China in recent years has brought to life more than 50 projects in different countries, two of which (Molycorp and Lynas) have already entered the market with their products, the design capacity, respectively, 40 and 22 thousand tons / g of mainly cerium (light) group. In the raw materials produced by the largest Western companies Molycorp and Lynas, the share of light is 98.6 and 94.7%, respectively. Domestic raw materials sources are no exception in this sense. One of the alternative sources of REE is the complex iron-rare earth ores of the West Siberian belt, the largest in the World, that we have identified for the first time. Its development will cover all the internal and external needs of the Russian Federation. We attempted to extract REE elements from these ores. Fig.3, Tab. 8, Ref.15.

УДК 669.046:662.61:66.971

Особенности процессов пыле и дымообразования при газокислородной продувке конвертерной ванны В.В. Солоненко, Е.В. Протопопов, М.В. Темлянцев, Н.Ф. Якушевич, Н.А. Чернышева // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 67.

Проведено исследование особенностей процесса пыле- и дымообразования при газокислородной продувке конвертерной ванны. Определены основные причины, вызывающие угар металла. Изучены

особенности влияния основных параметров процесса на потери металла при пылевыносе и испарении железа в реакционной зоне. Выполнена оценка процесса распыления металла за счет всплывающих пузырей СО, который определяется скоростью их подъема на поверхность ванны. Определены особенности температурного режима реакционной зоны и баланса тепла при добавке топлива к кислородному потоку. Добавка топлива к кислороду позволяет увеличить приход тепла в ванну, при этом уменьшает скорость обезуглероживания. Это способствует уменьшению количества выносимой пыли, образующейся при разрыве и дроблении пленок металла газовыми пузырями. Рассмотрено влияние использования кислорода продуктов горения на окисление примесей металла. На примере продувки углеродистой и легированной стали для прокатных валков показано, что степени разложения CO_2 и H_2O в ванне являются основными характеристиками газокислородной продувки. Эти показатели определяют окислительные и нагревательные свойства дутья. Выполнена оценка изменения суммарного, усвоенного тепла и его потерь с отходящими газами в зависимости от степени разбавления кислородного потока природным газом (метаном). В данных условиях использование погружных факелов горения при изменении окислительной способности факелов позволяет решать различные технологические задачи, в том числе является эффективным способом уменьшения пылевыделения в конвертерном процессе. Рис. 5. Библ. 26.

Study of the nature of process of dust and smoke generation during gas-oxygen blasting of the converter bath has been carried out. The main reasons causing metal waste have been determined. Influence of the process main parameters on metal loss during dust removal and evaporation of iron in the reaction zone have been studied. Process of metal pulverization due to floating CO bubbles, determined by the rate of their rise to the bath surface is estimated. Specifics of temperature regime of the reaction zone and balance of heat when adding fuel to the oxygen flow have been determined. Adding fuel to oxygen makes it possible to increase heat input into the bath, while reducing the rate of decarburization. This enables reduction of dust discharge during rupture and crush of metal films by gas bubbles. The effect of

combustion products oxygen use on metal impurities oxidation is considered. By the example of mill rolls carbon and alloyed steel blasting, it has been shown that the degrees of CO₂ and H₂O decomposition in bath are the main qualities of gas-oxygen blasting. These indicators determine the oxidizing and heating properties of the blast. Assessment of change in total, consumed heat and its losses with exhaust gases, depending on degree of the oxygen flow dilution with natural gas (methane), has been carried out. Under these conditions, use of submersible combustion torches with change in oxidizing ability of torches makes it possible to solve various technological tasks, including provision of an effective way to reduce dust emission in converter process. Fig. 5. Ref. 26.

УДК 669(06)

Повышение стойкости чугуновых секций газосборных колоколов алюминиевых электролизеров ЭкоСодерберг на основе применения защитных покрытий / Е.А. Пинаев, М.В. Темлянцев, Е.Н. Темлянцева, Н.И. Кувшинникова // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 87.

Статья посвящена разработке покрытий для защиты чугуновых секций газосборных колоколов алюминиевых электролизеров. Авторами разработаны составы покрытий на основе силикатного стекла, обеспечивающие снижение интенсивности коррозии и потерь массы секции при эксплуатации в 10 раз. Рис. 2. Библ. 21.

The article is devoted to the development of coatings for the protection of cast-iron sections of gas-collecting bells of aluminum electrolyzers. The authors developed coating compositions based on silicate glass that reduce the intensity of corrosion and weight loss of the section during operation by 10 times. Fig. 2. Ref. 21.

УДК 669.1.17

Влияние режимов контактного подогрева стали Э76ХФ на трансформацию неметаллических включений / Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.Р. Михно, А.А. Усольцев // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 95.

В работе проведено исследование неметаллических включений, образующихся при электроконтактной сварки с последующей изотермической выдержкой рельсовой стали. Установлено, что неметаллические включения, находящиеся в основном металле, вне зоны шва, типичны для включений, образующихся при выплавке, что свидетельствует о шлаковом характере их происхождения, а контактная стыковая сварка не оказала влияния на образование новых неметаллических включений во время сварки в образцах. Рис. 2. Табл. 3. Библ. 12.

The study of non-metallic inclusions formed during electric contact welding with subsequent isothermal aging of rail steel is carried out. It was found that non-metallic inclusions located in the base metal, outside the seam zone, are typical for inclusions formed during smelting, which indicates the slag nature of their origin, and contact butt welding did not affect the formation of new non-metallic inclusions during welding in the samples. Fig. 2. Table 3. Ref. 12.

УДК 669.1.17

Влияние режимов контактного подогрева стали Э76ХФ на микроструктуру сварных соединений рельсов / Н.А. Козырев, Р.А. Шевченко, А.А. Усольцев, А.Р. Михно // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 102.

В работе представлены результаты проведенных исследований изучения структуры сварных соединений рельсовой стали марки Э76ХФ при новых режимах сварки с последующей изотермической выдержкой рельсовой стали. В зоне сварного шва преобладает структура пластинчатого перлита. В ходе исследования определены оптимальные параметры сварки, благодаря которым возможно получение требуемой благоприятной структуры материала. Рис. 2. Табл. 5. Библ. 7.

The paper presents the results of studies of the structure of welded joints of rail steel of the E76HF brand under new welding modes with subsequent isothermal aging of rail steel. In the weld zone, the structure of lamellar perlite prevails. In the course of the study, the optimal welding parameters were determined, thanks to

which it is possible to obtain the required favorable structure of the material. Fig. 2. Table 5. Ref. 7.

УДК 631.31

Фрагменты совершенствования орудий труда древнего земледельца / В.И. Мясенко, А.А. Косолапова // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 110.

Технический прогресс и его объективные тенденции достаточно полно раскрываются в этапах совершенствования древних земледельческих орудий. Рис. 3. Библ. 9.

Technical progress and its objective tendencies are quite fully revealed in the stages of improvement of ancient agricultural tools. Fig. 3. Ref. 9.

УДК 631.95

Устойчивость почв а агроценозах / О.И. Степанова // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 116.

Проблема сохранения почв отмечена в правительственных документах РФ последнего десятилетия как первоочередная. Для устойчивого развития сельского хозяйства предлагается пересмотреть отношение к экосистемам, в частности к агроэкосистемам. Библ. 115.

The problem of soil conservation is noted in the government documents of the Russian Federation of the last decade as a priority. For the sustainable development of agriculture, it is proposed to reconsider the attitude to ecosystems, in particular to agroecosystems. Ref. 115.

УДК 614

Новые достижения, инновационные технологии / В.В. Агаджанян, И.М. Устьянцева, С.А. Кравцов, А.А. Пронских, А.А. Милюков, А.В. Новокшенов, Л.М. Афанасьев // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 138.

Сохранение из года в год инновационного развития науки и практики, традиций высокого уровня медицинской помощи, постоянное стремление подняться на ступень выше прошлых достижений – эти характеристики всегда

относили центр охраны здоровья шахтеров в разряд лидирующих учреждений здравоохранения региона.

The preservation of the innovative development of science and practice from year to year, the traditions of a high level of medical care, the constant desire to rise a step above past achievements-these characteristics have always attributed the center for the protection of the health of miners in the category of leading health institutions in the region.

УДК 616.8:617.5

Общие принципы медицинской реабилитации при травме позвоночника и спинного мозга в остром периоде / А.В. Новокшенов, О.А. Якушин // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 146.

В статье освещены общие принципы медицинской реабилитации при травме позвоночника и спинного мозга в остром периоде. Представлены общие принципы восстановительного лечения в остром периоде на основе механизмов саногенеза: реституции, регенерации и компенсации по принципу этапности. Библ. 5.

The article highlights the general principles of medical rehabilitation for spine and spinal cord injury in the acute period. The general principles of rehabilitation treatment in the acute period based on the mechanisms of sanogenesis: restitution, regeneration and compensation based on the principle of stages are presented. Ref. 5.

УДК 617.5 – 004.6

Осложнения у больных в остром периоде позвоночно-спинномозговой травмы / О.А. Якушин, А.В. Новокшенов // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 152.

В статье проведен анализ частоты и структуры развившихся осложнений у больных с позвоночно-спинномозговой травмой в остром периоде на этапе оказания специализированной медицинской помощи. Выделены и статистически обоснованы основные факторы, оказывающие влияние на частоту и структуру развития осложнений. Проведен анализ летальности и

сроков стационарного лечения с осложнениями у спинальных больных. Таб. 6. Библ. 9.

The article analyzes the frequency and structure of complications developed in patients with spinal cord injury in the acute period at the stage of specialized medical care. The main factors influencing the frequency and structure of complications were identified and statistically substantiated. The analysis of mortality and terms of inpatient treatment with complications in spinal patients was carried out. Tab. 6. Ref. 9.

УДК 303

Всеобщая системная классификация наук как средство развития социальных и интеллектуальных способностей человека / Ю.П. Холюшкин // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 159.

В статье речь идет о реализованной попытке поиска целостной мировоззренческой концепции системного описания науки, требующей не только освоения естественнонаучных и общенаучных новаций, но и переосмысления накопленного духовного и интеллектуального опыта. Анализируя данные упомянутых выше гуманитарных наук, мы попытались найти логичность взаимосвязей между разделами гуманитарных наук и вывести некоторую закономерность. Рис. 2. Библ. 11.

The article is about a realized attempt to search for a holistic worldview concept of a systematic description of science, requiring not only the development of natural science and general scientific innovations, but also the rethinking of accumulated spiritual and intellectual experience. Analyzing the data of the humanities mentioned above, we tried to find the consistency of the relationships between the sections of the humanities and to deduce some regula. Fig. 2. Ref. 11.

УДК 378.147

Критерии и признаки, определяющие модель положительного речевого поведения преподавателя / Е.Г. Оршанская // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 168.

Выделены критерии для описания модели положительного речевого поведения преподавателя. Дана характеристика признакам каждого критерия. Описаны компоненты речевой деятельности преподавателя. Предложены рекомендации по реализации данной модели на практике. Рис. 3. Библ. 3.

The criteria for describing the model of positive speech behavior of the teacher are highlighted. The characteristics of each criterion are given. The components of the teacher's speech activity are described. Recommendations for the implementation of this model in practice are proposed. Fig. 3. Ref. 3.

УДК 811.11

Реализация билингвальной гибкости в процессе осуществления текущего контроля на занятиях по иностранному языку при обучении студентов вуза / Е.Г. Оршанская // Вестник РАЕН (ЗСО). – 2020. – № 23. – С. 175.

Раскрыто содержание понятия "билингвальная гибкость". Перечислены формы текущего контроля, используемые при изучении иностранного языка в вузе. Рассмотрена реализация билингвальной гибкости на примере проведения инструктажа. Дана характеристика его видам. Сформулированы рекомендации по выбору языка для инструктажа. Рис. 2. Табл. 1. Библ. 3.

The content of the concept of "bilingual flexibility" is revealed. The forms of current control used in the study of a foreign language at the university are listed. The implementation of bilingual flexibility is considered on the example of instructing. The characteristic of its types is given. Recommendations on the choice of language for instruction are formulated. Fig. 2. Table. 1. Ref. 3.

Научное издание

ВЕСТНИК
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
ЗАПАДНО–СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Выпуск 23, 2020 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 28.12.2021 г. Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага писчая.
Печать офсетная. Усл. печ.л. 11,35. Уч. – изд.л. 12,79. Тираж 300 экз. Заказ № 259

Отпечатано в
Издательском центре
Сибирского государственного индустриального университета